



Universidad
Señor de Sipán

**FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y
URBANISMO**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL Y COMERCIO EXTERIOR**

TESIS

**OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO DE MEZCLAS DE LA
ACEPTABILIDAD DE UN CUPCAKE ENRIQUECIDO CON
HARINA DE HONGO COMESTIBLE (*Suillus luteus*) Y
CAÑIHUA (*Chenopodium pollidicaule*)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERA AGROINDUSTRIAL Y
COMERCIO EXTERIOR**

Autoras

Bach. Manayay Llaguento Beatriz
(<https://orcid.org/0009-0000-7380-8666>)

Bach. Vasquez Fernandez Licenia
(<https://orcid.org/0009-0006-8386-4016>)

Asesor

Dr. Ing. Rodriguez Lafitte Ernesto Dante
(<https://orcid.org/0009-0007-3238-0422>)

Línea de Investigación

**Tecnología e innovación en el desarrollo de la construcción y la
industria en un contexto de sostenibilidad**

Sublínea de Investigación

**Gestión y sostenibilidad en las dinámicas empresariales de industrias
y organizaciones**

**Pimentel – Perú
2025**

OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO DE MEZCLAS DE LA ACEPTABILIDAD DE UN CUPCAKE ENRIQUECIDO CON HARINA DE HONGO COMESTIBLE (*Suillus luteus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pollidicaule*)

Aprobación del jurado

Mg. SIMPALO LOPEZ WALTER BERNARDO

Presidente del Jurado de Tesis

Mg. MERA VELASQUEZ TATIANA LISETH

Secretario del Jurado de Tesis

Dr. RODRIGUEZ LAFITTE ERNESTO DANTE

Vocal del Jurado de Tesis


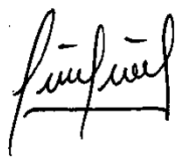
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Quien(es) suscribe(n) la DECLARACIÓN JURADA, soy(somos) egresado (s) del Programa de Estudios de **Ingeniería Agroindustrial y Comercio Exterior** de la Universidad Señor de Sipán S.A.C, declaro (amos) bajo juramento que soy (somos) autor(es) del trabajo titulado:

OPTIMIZACIÓN POR DISEÑO DE MEZCLAS DE LA ACEPTABILIDAD DE UN CUPCAKE ENRIQUECIDO CON HARINA DE HONGO COMESTIBLE (*Suillus luteus*) Y CAÑIHUA (*Chenopodium pollidicaule*)

El texto de mi trabajo de investigación responde y respeta lo indicado en el Código de Ética del Comité Institucional de Ética en Investigación de la Universidad Señor de Sipán, conforme a los principios y lineamientos detallados en dicho documento, en relación con las citas y referencias bibliográficas, respetando el derecho de propiedad intelectual, por lo cual informo que la investigación cumple con ser inédito, original y autentico.

En virtud de lo antes mencionado, firman:

Manayay Llaguento Beatriz	DNI: 17432016	
Vasquez Fernandez Licenia	DNI: 44600058	

Pimentel, 04 de marzo del 2024.




22% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 4%  Publicaciones
- 13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A Dios por ser mi guía para poder culminar de manera satisfactoria, y darme el don de nunca rendirme ante cualquier obstáculo hasta finalizar mi carrera.

Dedico el resultado de este trabajo a mi familia, sobre todo a la memoria de mis padres y hermanos que me han enseñado a ser una persona de bien con principios y valores y lograr alcanzar mis metas trazadas.

Vasquez Fernandez Licenia

A DIOS

Por permitirme la vida y concederme el privilegio de servir a los demás.

A LA MEMORIA DE MI PADRE:

LUIS

Por sus sabios consejos y protección desde el infinito.

A MI FAMILIA:

Por su apoyo incondicional, y motivación de superación a lo largo de toda mi carrera universitaria.

Manayay Llaguento Beatriz

Agradecimientos

A Dios por darme sabiduría, perseverancia y fortaleza para el logro de mi objetivo.

A mi familia, por el apoyo y motivación incondicional, A la memoria de mis padres que desde el cielo me bendicen y poder culminar mi carrera profesional.

A mis docentes y asesores, por ayudarme a la culminación de mi proyecto, por el apoyo incondicional de sus aportes que han fortalecido mis conocimientos.

Vasquez Fernandez Licenia

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi familia y a mis hijos por haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

Y por supuesto a mi querida Universidad y a todas las autoridades, por permitirme concluir con una etapa de mi vida, gracias por la paciencia, orientación y guiarme en el desarrollo de esta investigación, en especial al Ing. Edward Aurora

Manayay Llaguento Beatriz

Índice

Dedicatoria.....	5
Agradecimientos	6
Índice de tablas.....	9
Índice de figuras.....	11
Resumen.....	13
Abstract.....	14
I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	23
1.3. Hipótesis	23
1.4. Objetivos.....	23
1.5. Teorías relacionadas al tema	24
1.5.1. Cañihua:.....	24
1.5.1.1. Taxonomía y Morfología.....	24
1.5.1.2. Clasificación.....	26
a. Por Ecotipos.....	26
b. Por coloración	27
1.5.1.3. Producción Nacional	27
1.5.1.4. Propiedades Nutricionales.....	29
1.5.2. Hongo Silvestre comestible.....	32
1.5.2.1. Propiedades Nutricionales.....	32
1.5.2.2. Propiedades Medicinales.....	34
1.5.3. Cupcakes.....	37
II. MATERIALES Y MÉTODO	40
2.1. Tipo y Diseño de Investigación.....	40
2.2. Variables, Operacionalización.....	40
2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección.....	42
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	42
2.4.1. Elaboración de harina de cañihua y hongos.....	42
2.4.2. Caracterización de harina de cañihua y hongos	44
2.4.3. Elaboración de los cupcakes formulado a partir de harina de hongo comestible (<i>Suillus</i> <i>luteus</i>) y cañihua (<i>Chenopodium pollidicaule</i>)	46
2.4.4. Evaluación sensorial de cupcakes formulados.....	49
2.4.5. Evaluación fisicoquímica de cupcakes formulados	50

2.4.6.	Evaluación nutricional de la mejor formulación de cupcakes.....	50
2.4.7.	Vida Útil.....	51
2.5.	Procedimiento de análisis de datos	51
2.6.	Criterios éticos	52
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1.	Resultados	53
3.1.1.	Características fisicoquímicas y tecno-funcional de la Harina de hongo comestible	53
3.1.2.	Evaluación sensorial de las formulaciones de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua	54
3.1.2.1.	Evaluación Sensorial del Olor	55
3.1.2.2.	Evaluación Sensorial del Color	59
3.1.2.3.	Evaluación Sensorial del Sabor	63
3.1.2.4.	Evaluación Sensorial del Textura	67
3.1.2.5.	Evaluación Sensorial del Aceptabilidad General.....	71
3.1.3.	Evaluación fisicoquímica de las formulaciones de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua	75
3.1.3.1.	Humedad	75
3.1.3.2.	Acidez	79
3.1.3.3.	Textura	83
3.1.3.4.	Volumen Específico	87
3.1.3.5.	Color de Corteza	91
3.1.3.6.	Color de Miga	101
3.1.4.	Determinación de la mejor formulación de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua	112
3.1.5.	Determinación del valor nutricional de la mejor formulación de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua	114
3.2.	Discusión.....	115
IV.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	120
4.1.	Conclusiones	120
4.2.	Recomendaciones.....	121
	REFERENCIAS	122
	ANEXOS	129

Índice de tablas

Tabla 1. Ecotipos de la Cañihua.....	26
Tabla 2. Composición de algunos granos andinos en comparación con el trigo (g/100g)	30
Tabla 3. Contenido de azúcares en los granos andinos (g/100g materia seca)	30
Tabla 4. Contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dietética total (FDT) en los granos andinos (g/100g base seca).....	31
Tabla 5. Capacidad antioxidante en alimentos	32
Tabla 6. Información nutricional de los hongos medicinales y sus posibles beneficios para la salud .	33
Tabla 7. Operacionalización de la variable	41
Tabla 8. Formulación en base de cup cake basada en la proporción de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible.....	46
Tabla 9. Insumos agregar a cada formulación de cup cake	46
Tabla 10. Características fisicoquímicas de harina de hongo comestible	53
Tabla 11. Características tecnofuncionales de las harinas utilizadas en la formulación de cupcakes ..	54
Tabla 12. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Olor	55
Tabla 13. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Olor	56
Tabla 14. Coeficientes estadísticos para el atributo Olor	56
Tabla 15. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Color	59
Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Color.....	59
Tabla 17. Coeficientes estadísticos para el atributo Color.....	60
Tabla 18. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo sabor.....	63
Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sabor	63
Tabla 20. Coeficientes estadísticos para el atributo Sabor	64
Tabla 21. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Textura.....	67
Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Textura	67
Tabla 23. Coeficientes estadísticos para el atributo Textura	68
Tabla 24. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Aceptabilidad General.....	71
Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Aceptabilidad General	71
Tabla 26. Coeficientes estadísticos para el atributo Aceptabilidad general	72
Tabla 27. Ajuste del diseño de mezclas de cupcakes al modelo para el atributo Humedad.....	75
Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Humedad	75
Tabla 29. Coeficientes estadísticos para el atributo Humedad	76
Tabla 30. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Acidez.....	79
Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Acidez.....	79
Tabla 32. Coeficientes estadísticos para el atributo Acidez	80
Tabla 33. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo textura.....	83

Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Textura	83
Tabla 35. Coeficientes estadísticos para el atributo Textura	84
Tabla 36. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo volumen específico.	87
Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo volumen específico	87
Tabla 38. Coeficientes estadísticos para el atributo Volumen específico	88
Tabla 40. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo color de corteza	92
Tabla 41. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color de corteza.....	93
Tabla 42. Coeficientes estadísticos para el atributo Aceptabilidad general	94
Tabla 44. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo color de miga	102
Tabla 45. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color de miga	103
Tabla 46. Coeficientes estadísticos para el atributo Aceptabilidad general	104
Tabla 47. Valores de optimización de formulación del cup cake	112
Tabla 48. Obtención de mejor formulación de cupcakes.....	113
Tabla 49. Características nutricionales de la mejor formulación de cupcake	114

Índice de figuras

Figura 1. (A) Cañihua, (A1) flor hermafrodita, (A2) flor (FAO, 2000).....	25
Figura 2. Ecotipos de la cañihua: (a) Saiwa, (b) Lasta (Bartolo D, 2013).....	27
Figura 3. Semillas de la cañihua (Chenopodium pallidicaule Aellen) (FAO, 2000).....	27
Figura 4. Zonas de producción de Cañihua, 2017.(Ministerio de Agricultura y Riego, 2018).....	28
Figura 5. Perú: Producción de Cañihua (Miles de t).....	29
Figura 6. Hongos medicinales: el futuro de la atención sanitaria (Hamza et al., 2024).....	34
Figura 7. Resultados de evaluación sensorial de las formulaciones de cupcake.....	55
Figura 8. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Olor.....	57
Figura 9. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Olor.....	58
Figura 10. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Color.....	61
Figura 11. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo color.....	62
Figura 12. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo sabor.....	65
Figura 13. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo sabor.....	66
Figura 14. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Textura.....	69
Figura 15. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo textura.....	70
Figura 16. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo aceptabilidad general.....	73
Figura 17. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo aceptabilidad general.....	74
Figura 18. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Humedad.....	77
Figura 19. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Humedad.....	78
Figura 20. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo acidez.....	81
Figura 21. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo acidez.....	82

Figura 22. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo textura.....	85
Figura 23. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo textura.....	86
Figura 24. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo volumen específico.....	89
Figura 25. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo volumen específico.....	90
Figura 26. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de corteza.....	96
Figura 27. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de corteza.....	97
Figura 28. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de corteza.....	98
Figura 29. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de corteza.....	99
Figura 30. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de corteza.....	100
Figura 31. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de corteza.....	101
Figura 32. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de miga.....	106
Figura 33. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de miga.....	107
Figura 34. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de miga.....	108
Figura 35. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de miga.....	109
Figura 36. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de miga.....	110
Figura 37. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de miga.....	111

Resumen

El objetivo de la investigación fue aprovechar la harina de hongo comestible y la harina de cañihua en la elaboración y evaluación de las características fisicoquímicas y sensoriales de cupcakes. La metodología fue experimental, iniciando con la caracterización fisicoquímica de la harina de hongo comestible y tecnofuncionales de las harinas (trigo, cañihua y hongo comestible), luego se formuló el cupcake utilizando un diseño de mezclas (D-optimal): harina de trigo (70% - 100%), harina de cañihua (0% - 30%) y harina de hongo (0% - 30%) obteniéndose 14 formulaciones. Luego a la mejor formulación de cupcake, se determinó sus propiedades nutricionales. La harina de hongo obtuvo humedad (4.81 ± 0.12 %), proteínas (22.92 ± 0.88 %), grasas (3.89 ± 0.05 %), carbohidratos (56.93 ± 1.22 %), cenizas (9.12 ± 0.21 %) y fibra (2.33 ± 0.04 %). Los resultados determinaron que la mejor formulación de cupcake contiene harina de trigo (73.30%), harina de hongo comestible (10.8%), y harina de cañihua (15.9%), obteniendo la mejor puntuación en atributos sensoriales de Olor (6.51), Color (6.79), Sabor (6.95), Textura (7.16), Aceptabilidad general (7.44); y en parámetros fisicoquímicos de Acidez (0.58), Textura (54.14) y Humedad (25.24). Finalmente, las propiedades nutricionales de la mejor formulación de cupcakes son proteínas ($16.15\% \pm 0.017\%$), fibra ($1.89\% \pm 0.108\%$), carbohidratos ($30.42\% \pm 0.236\%$), grasas ($15.54\% \pm 0.444\%$), humedad ($28.94\% \pm 0.263\%$) y cenizas ($1.78\% \pm 0.085\%$).

Palabras Clave: harina de hongo comestible, cupcakes, harina de cañihua.

Abstract

The objective of the research was to take advantage of edible mushroom flour and cañihua flour in the preparation and evaluation of the physicochemical and sensory characteristics of cupcakes. The methodology was experimental, starting with the physicochemical characterization of the edible mushroom flour and technofunctional flours (wheat, cañihua and edible mushroom), then the cupcake was formulated using a mixture design (D-optimal): wheat flour (70% - 100%), cañihua flour (0% - 30%) and mushroom flour (0% - 30%), obtaining 14 formulations. Then, the best yogurt formulation was determined, its nutritional properties were determined. The mushroom flour obtained moisture ($4.81 \pm 0.12\%$), proteins ($22.92 \pm 0.88\%$), fats ($3.89 \pm 0.05\%$), carbohydrates ($56.93 \pm 1.22\%$), ash ($9.12 \pm 0.21\%$) and fiber ($2.33 \pm 0.04\%$). The results determined that the best yogurt formulation contains wheat flour (73.30%), edible mushroom flour (10.8%), and cañihua flour (15.9%), obtaining the best score in sensory attributes of Odor (6.51), Color (6.79), Flavor (6.95), Texture (7.16), General Acceptability (7.44); and in physicochemical parameters of Acidity (0.58), Texture (54.14 mJ) and Humidity (25.24). Finally, the nutritional properties of the best cupcake formulation are proteins ($16.15\% \pm 0.017\%$), fiber ($1.89\% \pm 0.108\%$), carbohydrates ($30.42\% \pm 0.236\%$), fats ($15.54\% \pm 0.444\%$), moisture ($28.94\% \pm 0.263\%$) and ash ($1.78\% \pm 0.085\%$).

Keywords: edible mushroom flour, cupcakes, cañihua flour.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática.

A pesar de los esfuerzos de organizaciones mundiales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Organización de las Naciones Unidas (ONU), Organización Mundial de la Salud (OMS), por combatir el hambre, la inseguridad alimentaria y la desnutrición, sigue siendo un problema sin resolver. La nutrición es una necesidad humana fundamental y esencial para una vida sana. Las enfermedades como el retraso en el crecimiento, los problemas oculares, la diabetes y las enfermedades cardíacas se deben principalmente a no tener la cantidad adecuada de nutrición a diario. Sumado a ello, existe un problema de la anemia y retraso en el crecimiento en los niños; que pueden causar deficiencias irreversibles en su aprendizaje y su crecimiento, por lo que es necesario desarrollar alimentos enriquecidos. La mayor conciencia sobre una alimentación saludable ha generado la necesidad de producir alimentos saludables y funcionales [1], [2], [3], [4].

Asimismo, con la pandemia de la enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) ha provocado escasez de alimentos, aumento de los precios de los alimentos y pérdida de ingresos. La falta de acceso constante a fuentes de alimentos nutritivos se asocia con problemas crónicos de salud física y mental y con la muerte. La desnutrición es una condición grave que se desarrolla cuando el cuerpo humano se ve privado o no obtiene la cantidad adecuada de nutrientes vitales como vitaminas, minerales, proteínas, carbohidratos, lípidos y algunas otras sustancias esenciales que el cuerpo necesita para funcionar. Puede tener un impacto significativo en la salud de las personas, incluido el retraso en el crecimiento, el bajo peso corporal y la atrofia muscular, y varias enfermedades crónicas, incluidas las enfermedades del tracto gastrointestinal, el cáncer y, a veces, las complicaciones posquirúrgicas. Existe evidencia científica el consumo de alimentos funcionales y enriquecidos son efectivos para prevenir y reducir el impacto de la desnutrición [5], [6].

La cañihua (*Chenopodium pallidicaule*) es un pseudocereal con un alto valor nutricional y funcional. Aunque en la antigüedad fue un alimento ampliamente consumido en la región andina, ha sido catalogado como un cultivo subutilizado durante décadas. Sin embargo, en los últimos años, su demanda ha experimentado un notable crecimiento, especialmente en mercados europeos, debido al creciente interés en alimentos con propiedades nutricionales excepcionales [7]. Este pseudocereal es reconocido como un superalimento por su destacado

perfil de proteínas y su balanceada proporción de aminoácidos esenciales y ácidos grasos insaturados, con una concentración significativa de ácido linoleico y oleico. Además, es una fuente rica en compuestos bioactivos con potente actividad antioxidante. A pesar de sus beneficios nutricionales, su producción y consumo aún son limitados fuera de sus zonas tradicionales de cultivo. No obstante, su capacidad de adaptación a condiciones agroclimáticas adversas permite su cultivo en entornos con condiciones extremas, lo que refuerza su potencial para expandirse a nuevas regiones agrícolas [8].

La harina de cañihua puede emplearse en la producción de diversos productos de panadería y repostería, tales como panes, tortas, galletas y fideos. En comparación con otros cereales, esta harina destaca por ser hipoalergénica, libre de gluten y con un alto contenido de proteínas, ácidos grasos esenciales y compuestos bioactivos. Debido a estas características, la cañihua representa una excelente alternativa para la elaboración de cupcakes, ya que su perfil nutricional la hace ideal para su incorporación en formulaciones de productos de repostería veganos o con bajo contenido de gluten, cuya demanda ha crecido en el mercado de alimentos saludables. Aunque existen múltiples investigaciones sobre el uso de la quinua en la formulación de cupcakes, hasta la fecha no se han desarrollado estudios específicos sobre la aplicación de la cañihua en este tipo de preparaciones [9].

En el estudio de [10] analizaron el impacto de la incorporación de harina de quinua, tanto en su versión integral como malteada, sobre las propiedades físicas, nutricionales y sensoriales de muffins libres de gluten. Para ello, se desarrollaron diferentes formulaciones: una utilizando exclusivamente harina de arroz (100%) y otra donde el 30% de esta fue reemplazada por harina de quinua integral o malteada. En los productos obtenidos, se evaluaron diversos parámetros, como la composición proximal, la pérdida de masa durante el horneado, las dimensiones del producto, el volumen específico, la morfología de la miga, el perfil de textura y la aceptación sensorial mediante un panel de panelistas. Las harinas de quinua produjeron un aumento de entre 12% y 18% en proteínas, de 8% a 18% en minerales y de 22% a 25% en aminoácidos, en comparación con las muestras que contenían solo harina de arroz (utilizada como referencia). Las mejoras tecnológicas y sensoriales en la calidad de los muffins evaluados también estuvieron asociadas a la adición de harinas de quinua. Los muffins con harina de quinua malteada durante 24 horas tenían humedad, altura, volumen y firmeza cercanos a los de referencia. En todas las muestras, las células pequeñas (0,002 a 0,005 cm²)

predominaron en la estructura de la miga y la evaluación sensorial arrojó resultados similares en cuanto a color y textura. Sin embargo, la fórmula con harina de quinua malteada durante 24 horas obtuvo la mejor puntuación en sabor y olor. En conclusión, el uso de harinas de quinua integral o malteada a formulaciones de productos sin gluten mejora sus características nutricionales y tecnológicas. Estos nuevos productos no sólo amplían la variedad de alimentos para las personas celíacas, sino que también aumentan el valor agregado de los granos de quinua, lo que motiva su producción e industrialización.

En el estudio de [11] se examinó la composición proximal y las propiedades tecnofuncionales de las harinas de tarwi y kañiwa, así como la calidad tecnológica de rebozados y muffins elaborados a partir de almidón de papa, en los cuales el 50% de la formulación fue sustituido por estas harinas. Las harinas andinas poseen un elevado contenido de proteínas, fibra y lípidos, además de exhibir una notable capacidad de absorción de agua y aceite. En las premezclas formuladas con almidón de papa y harinas andinas se observó una reducción en la viscosidad de la pasta debido a la dilución del almidón y la menor disponibilidad de agua. Dependiendo de su capacidad para interactuar con el agua, los rebozados formulados con estas harinas tuvieron mayor consistencia. Micrográficas de barrido láser confocal mostraron que los rebozados con harinas andinas presentaban una matriz compleja con gránulos de almidón dispersos rodeados de proteínas y fragmentos de fibra. Los muffins elaborados con harinas andinas tuvieron un volumen específico ligeramente menor que el control, pero la dureza de la miga no fue modificada por la harina de tarwi (50%) y una mezcla de harinas de tarwi (25%) y kañiwa (25%). El color intrínseco de estas harinas modificó el color de la miga y su contenido de azúcares reductores también favoreció las reacciones de Maillard en la corteza. Estos cambios de color son deseables en productos sin gluten porque dichos productos frecuentemente son pálidos debido a su alto contenido de almidón. Finalmente, se demostró que las harinas de tarwi y kañiwa son aptas para elaborar muffins veganos, sin gluten, de buena calidad tecnológica y perfil nutricional mejorado, agregando valor a estas harinas ancestrales subutilizadas.

En el estudio de [12] evaluaron la estabilidad fisicoquímica, textural, sensorial y microbiológica de cupcakes durante el almacenamiento luego de la adición de diferentes proporciones de aislado de proteína de quinua modificado por desnaturalización por calor (QPI-HD) y congelación-lioofilización (QPI-FL). Los cupcakes que contenían proteína de

quinua modificada exhibieron mayor firmeza y actividad acuosa que los cupcakes de control. El análisis del perfil de textura (TPA) reveló que los cupcakes con proteína de quinua modificada eran estadísticamente diferentes de aquellos con aislado de proteína no modificado y el cupcake de control. Además, los cupcakes con proteína de quinua modificada ya sea por calor o por congelación tuvieron mayor aceptación y preferencia por parte de los consumidores. Sumado a esto, estos cupcakes mostraron un menor crecimiento de mohos luego de 10 días de almacenamiento; esto indicó que el aditivo antes mencionado podría aumentar la vida útil del producto terminado (cupcake). Los resultados mostraron que la adición de proteína de quinua modificada produjo cupcakes con mejores propiedades sensoriales y texturales y mayor estabilidad durante el almacenamiento.

En el estudio de [13] se investigaron las características fisicoquímicas y sensoriales de muffins elaborados con harina de trigo en su totalidad (muestra de referencia) y con formulaciones en las que se sustituyó la harina de trigo por harina de quinua en proporciones del 25% y 50%. La incorporación de harina de quinua en la receta generó un incremento significativo en el contenido de proteínas, grasas, cenizas y aminoácidos, así como en el valor de dureza, determinado a través del análisis del perfil de textura. Sin embargo, se observó una reducción en el contenido de carbohidratos y en el volumen específico del producto. El análisis de color de los muffins reveló que a medida que se aumentaba el nivel de reemplazo con harina de quinua, se incrementaban los valores L^* en la corteza y los valores a^* en la miga, mientras que los valores L^* en la miga disminuían. En cuanto a la evaluación sensorial, las puntuaciones de porosidad, textura, sabor y aceptación global presentaron una reducción significativa.

De acuerdo con los datos estadísticos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT), la producción global de hongos ha mostrado una tendencia creciente en los últimos años, alcanzando un volumen de 43 millones de toneladas métricas (TM) en el periodo 2018-2019. Se proyecta que el consumo de hongos continuará en aumento, lo que sugiere una expansión sostenida en su producción a nivel mundial. El mercado internacional de hongos tuvo un valor estimado de 45.3 mil millones de dólares en 2020 y se prevé que experimente un crecimiento anual compuesto (CAGR) del 7% en el periodo 2022-2027. Los hongos comestibles han sido altamente valorados a nivel mundial por sus beneficios nutracéuticos y propiedades medicinales. Son considerados un superalimento emergente debido a su bajo aporte calórico, alto contenido proteico, reducidos

niveles de grasa y colesterol, además de su riqueza en vitaminas esenciales. El cuerpo fructífero de los hongos comestibles contiene una amplia variedad de metabolitos primarios y secundarios, los cuales juegan un papel clave en su valor nutricional y funcional. Sin embargo, el cultivo sumergido es una forma más fiable y controlada de producción de biomasa de micelio y muchos compuestos bioactivos. Varios metabolitos bioactivos presentes en los hongos poseen una variedad de propiedades beneficiosas, que incluyen actividades antioxidantes, antimicrobianas, anticancerígenas, antidiabéticas, antiinflamatorias, antivirales y anti-COVID-19. Los consumidores se han vuelto más intrigados por los productos que contienen hongos a medida que el mundo necesita diversificar sus fuentes de proteínas para satisfacer la creciente demanda de proteínas. En este contexto, los hongos se consideran una fuente prometedora de sustancias químicas bioactivas que pueden emplearse como alternativa a los productos cárnicos [14], [15]

Los hongos silvestres comestibles representan una fuente prometedora para la identificación de compuestos bioactivos naturales con potencial funcional. *Suillus luteus* es un hongo ectomicorrízico (EM) ampliamente distribuido en el hemisferio norte, donde se asocia con diversas especies del género *Pinus*, y ha sido introducido en regiones como América del Sur y Nueva Zelanda. Entre sus componentes bioactivos destacan los poliprenilfenoles, como el 1-O-acetato de 2-geranilgeranil-1,4-bencenodiol, además de flavonoides, fosfolípidos y ácidos grasos. Estos compuestos han demostrado efectos beneficiosos sobre la salud, contribuyendo a la reducción de los niveles de glucosa en sangre, lipoproteínas de alta y baja densidad, colesterol total, triglicéridos, así como las enzimas alanina aminotransferasa y aspartato aminotransferasa, lo que sugiere su eficacia en el manejo de la diabetes. Además, se ha identificado su potencial como inhibidor del crecimiento de células tumorales, lo que refuerza su valor como ingrediente funcional. Debido a su perfil nutricional y bioactivo, este hongo podría utilizarse en el desarrollo de nuevos productos alimenticios, como cupcakes enriquecidos con propiedades nutraceuticas [16], [17], [18], [19], [20].

En el estudio de [21] evaluaron el efecto de los hongos *Suillus luteus* (L.) Roussel sin escaldar y escaldados hasta obtener consistencia para el consumo con aceite de semilla de colza (100 g/kg) y NaCl (5 g/kg) y se obtuvieron 2 tipos de productos culinarios. La evaluación se llevó a cabo en champiñones frescos, así como en productos de champiñones de la siguiente manera: sin almacenar; almacenado a 20 °C durante 48 h; y se almacenaron a 4 °C durante 48

y 96 h. El escaldado provocó aumento en la materia seca, componentes nutricionales básicos y tocoferoles, y disminuciones en: polifenoles totales (46-61%), flavonoides totales (71-81%), vitamina C (71-81%), tiamina (71-81%), riboflavina (78%), vitamina B 3 (0-13%), vitamina B 6 (13-70%) y actividad antioxidante mediante ensayos ABTS, DPPH y FRAP (70-77%). El almacenamiento provocó mayores pérdidas de vitamina C y vitaminas del grupo B. Los productos almacenados durante 48 h a temperatura ambiente mostraron altos recuentos totales de viables, así como la presencia de levaduras, bacterias ácido lácticas y cepas de Bacillus; sin embargo, los productos almacenados en frío no presentaron contaminación microbiológica.

Si bien, no se han realizado estudios de hongos silvestres en cupcakes, se elaboraron con otros tipos de hongos, tal como [22] desarrollaron muffins funcionales mediante la incorporación de materiales alimenticios ricos en bioactivos, reemplazando progresivamente la harina de arroz por polvo de hongo shiitake (MP) y polvo de orujo de zanahoria (CP) y se evaluaron los efectos sobre las propiedades pastosas, físicas y texturales, así como la actividad antioxidante y la aceptabilidad del consumidor. Las propiedades pastosas de la harina de arroz estuvieron significativamente influenciadas ($P < 0,05$) por la incorporación de MP y CP. El aumento adicional en los niveles de MP y CP disminuyó el volumen de los muffins enriquecidos con un posterior aumento en el peso y la dureza. Se observaron contenidos más altos de polifenoles y carotenoides en los muffins enriquecidos, exhibiendo una mayor actividad antioxidante de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) en comparación con los muffins de arroz. El resultado sensorial reveló que los muffins enriquecidos tienen una aceptabilidad por parte del consumidor comparable y mejor que los muffins de arroz. Las propiedades antioxidantes de los muffins de arroz funcionales se mejoraron por la incorporación de MP y CP los convierte en un refrigerio potencial, adecuado para el consumo por sus beneficios para la salud.

En el estudio de [23], se analizó la calidad de cupcakes elaborados con mezclas de harina de trigo, camote de pulpa naranja (CAOF) y harina de champiñones en proporciones de 90:5:5, 80:10:10 y 70:15:15, respectivamente. La formulación de referencia correspondió a un cupcake elaborado exclusivamente con harina de trigo (100%). Se evaluaron diversos parámetros, incluyendo la composición proximal, el contenido total de compuestos fenólicos, la concentración de vitamina A y las características sensoriales de los cupcakes, además de

algunas propiedades funcionales de la mezcla de harinas empleada. Los resultados indicaron que el contenido de proteínas, cenizas y fibra cruda aumentó a medida que se incrementó la proporción de harinas de champiñones y camote en la formulación de los productos. El análisis de compuestos fenólicos mostró valores entre 0,13 y 0,16 mg/g, mientras que el contenido de vitamina A varió entre 0,64 y 1,06 mg/100 g. Las propiedades funcionales de la mezcla de harinas presentaron valores comprendidos entre 72,00–94,67% para la capacidad de absorción de agua, 6,97–8,19% para la capacidad de hinchamiento y 0,70–0,67 g/ml en la densidad aparente. Con base en estos hallazgos, se concluyó que los cupcakes desarrollados presentaron una mejora en su composición nutricional.

En el estudio de [24], se investigó la actividad antioxidante y los efectos antiinflamatorios del extracto acuoso del hongo shiitake (*Lentinus edodes*), así como su impacto en la calidad de muffins elaborados con distintas concentraciones de este extracto (SMWE). El análisis determinó que el contenido total de compuestos fenólicos en el extracto fue de 1,83 mg equivalentes de ácido gálico por gramo. Además, la capacidad del SMWE para eliminar radicales libres 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo mostró un incremento dependiente de la dosis ($P < 0,05$). Para evaluar su actividad antioxidante celular, se examinó la concentración de especies reactivas de oxígeno (ROS) en células RAW 264.7 expuestas a peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Los resultados indicaron que la aplicación de SMWE redujo la producción de ROS en un 26,58 % cuando se utilizó una concentración de 50 μ g/ml, evidenciando su potencial para mitigar el estrés oxidativo. Se examinaron los efectos antiinflamatorios utilizando células RAW 264.7 estimuladas con lipopolisacáridos y la producción de óxido nítrico se redujo al 72,92 % mediante la adición de SMWE a 50 μ g/ml. El peso de las magdalenas fue mayor en los grupos que contenían 0% SMWE. La altura y la tasa de pérdida de horneado de los muffins fueron mayores en los grupos que contenían 8% de SMWE, pero el contenido de humedad y el pH de los muffins disminuyeron significativamente cuando las cantidades de SMWE aumentaron ($P < 0,05$). El valor L y el valor b de los muffins disminuyeron significativamente cuando aumentaron las cantidades de SMWE ($P < 0,05$). Pero el valor de las magdalenas aumentó significativamente cuando aumentaron las cantidades de SMWE.

Entre otras investigaciones, en el estudio de [25], se evaluó el potencial del polvo de hongo ostra (*Pleurotus ostreatus*, OMP) como fuente de proteínas para mejorar el perfil nutricional de muffins sin gluten elaborados a base de harina de arroz y mijo perla. La

formulación incluyó la incorporación de OMP en proporciones del 5, 10, 15 y 20 %. Los resultados indicaron que la adición de OMP mejoró significativamente ($p < 0,05$) el contenido nutricional de los muffins. En particular, el contenido de proteínas en la muestra de referencia fue del 7,12 %, aumentando a 9,41 % y 10,19 % cuando se incorporaron niveles del 10 % y 15 % de OMP, respectivamente. Asimismo, la inclusión de un 10 % o más de polvo de champiñón prácticamente duplicó la cantidad de fibra presente en los muffins. Además, la adición del 10 % y 15 % de OMP incrementó los niveles de magnesio y potasio a 19,20 % y 27,20 %, respectivamente, representando un aumento del 42,91 % y 57,48 % en comparación con la muestra de control. La sustitución parcial de la harina de arroz por OMP también generó un aumento en la firmeza y masticabilidad de los productos sin gluten. En concentraciones más elevadas (15 % y 20 %), se observaron modificaciones significativas en los atributos de color. Sin embargo, estos cambios en la textura y apariencia de los muffins derivados de la adición de OMP no afectaron negativamente sus características sensoriales, lo que sugiere que esta incorporación es viable para mejorar la calidad nutricional de productos de panificación sin gluten. Los muffins enriquecidos con OMP estuvieron en el rango altamente aceptable ($>7,0$), y los muffins sin gluten enriquecidos con OMP al 15 % tuvieron las puntuaciones de aceptabilidad general más altas entre las muestras evaluadas. Además, la tecnología se demostró entre personas intolerantes al gluten y pequeños empresarios de productos sin gluten. A más del 90% de los encuestados les gustaron los muffins enriquecidos con OMP en comparación con la muestra de control. Además, los procesadores sin gluten también apreciaron esta sencilla tecnología alimentaria para mejorar el valor nutricional de las dietas sin gluten existentes.

El presente estudio responde al creciente interés por la incorporación de nuevos ingredientes en el desarrollo de alimentos funcionales, con el objetivo de ofrecer productos que contribuyan a la seguridad alimentaria y al bienestar de la población. En este contexto, los cupcakes formulados a partir de cañihua y hongos silvestres comestibles representan una alternativa innovadora que busca satisfacer las necesidades nutricionales, especialmente por los beneficios que estos ingredientes aportan en el manejo de condiciones de salud específicas, como enfermedades cardiovasculares, diabetes y ciertos tipos de cáncer. Asimismo, se han llevado a cabo ensayos con estos nuevos alimentos para evaluar su potencial como suplementos dietéticos, respondiendo a los cambios en los hábitos alimenticios de los consumidores. Estas modificaciones en la dieta están influenciadas por factores como el envejecimiento y la

obesidad, los cuales inciden directamente en las preferencias y necesidades nutricionales de la población. Por otro lado, la literatura científica sobre la aplicación de estas materias primas en la elaboración de cupcakes es aún limitada, lo que refuerza la importancia de continuar investigando su viabilidad en la industria alimentaria. Además, se espera que el impulso en la producción y comercialización de cañihua y hongos silvestres comestibles en el Perú no solo favorezca su disponibilidad en el mercado, sino que también genere un impacto positivo en la economía de los agricultores, contribuyendo a mejorar sus ingresos y calidad de vida.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál será el efecto de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*) en sus características sensoriales y fisicoquímicas de cup-cake?

1.3. Hipótesis

H_a: La sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*) tiene un efecto significativo en las características sensoriales y fisicoquímico de cup-cake.

H₀: La sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*) no tiene un efecto significativo en las características sensoriales y fisicoquímico de cup-cake.

1.4. Objetivos

Objetivo general

Evaluar las características sensoriales y fisicoquímicas del cup-cake con sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*).

Objetivos específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de la harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y la harina de cañihua (*Chenopodium pollidicaule*).
- Evaluar las características sensoriales de los cup-cake formulados a partir de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*).

- Evaluar las características fisicoquímicas de los cup-cake formulados a partir de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).
- Determinar las características nutricionales de la mejor formulación de Cup- cake con sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pallidicaule*).

1.5. Teorías relacionadas al tema

1.5.1. Cañihua:

La canihua (*Chenopodium pallidicaule*) es un cultivo nativo andino que destaca por su elevado nivel de proteínas, fibra y minerales y con un buen perfil de ácidos grasos [26]. La Cañawa o cañihua (*Ch. pallidicaule* Aellen), es un grano andino poco explorado con gran potencial en su perfil nutricional, propiedades nutraceuticas y una planta que beneficia la fertilidad del suelo y con ello la sostenibilidad de la agricultura andina. Además, tiene resistencia a las heladas, la sequía y la salinidad, y sus granos son como los de la quinua, pero tienen muy bajo contenido de saponinas y no contienen gluten [27].

La cañihua, es un pseudocereal, originaria de la región andina, de diámetro pequeño de 0.5 a 1.5 mm, de color marrón o negro. El valor nutritivo se diferencia por el contenido de proteínas (16% mayor que la quinua).

1.5.1.1. Taxonomía y Morfología

Planta herbácea, con ramificaciones desde su origen, con una estatura que oscila entre los 50 y 60 cm, y un ciclo de crecimiento de promedio de 155 días. La tonalidad del área foliar de la planta (incluyendo hojas y tallos) varía de acuerdo al ecotipo durante la etapa fenológica de maduración del grano; pasando de verde a tonos como naranja, amarillo pálido, rosa claro, rosa intenso, rojo y morado. La raíz es pivotante, llegando a desarrollar entre 13 a 16 cm, de coloración blanco a rosado pálido. El tallo es hueco, estriado y ramificado (entre 11 a 16 ramas), pudiendo tener distintas coloraciones según la variedad. Las hojas son tributadas, de tamaños de peciolo menor a 12 mm, con distintas formas foliar, romboidal, triangular, ovalar, con tamaños que varían entre 2.8 a 3.5 cm. Mientras que el grano, forma sub-cilíndrico, cónica, sub-

lenticular, subcónico y sub-elipsoidal de tamaño menor a 1.2 mm, cubierto por perigonio, sin saponinas [28].

El cultivo de la cañihua no ha logrado una expansión significativa más allá de las regiones andinas de Bolivia y Perú, manteniéndose principalmente en zonas montañosas de estos países, como la provincia de Cochabamba en Bolivia y los departamentos de Ayacucho, Cusco, Junín y Huancavelica en Perú. Esta planta puede presentar un porte erecto o un crecimiento altamente ramificado desde la base, alcanzando alturas que varían entre 20 cm y 70 cm. Sus tallos superiores, así como sus hojas y estructuras florales, están recubiertos por vesículas de tonalidad blanca o rosada, que le confieren un aspecto característico [29].

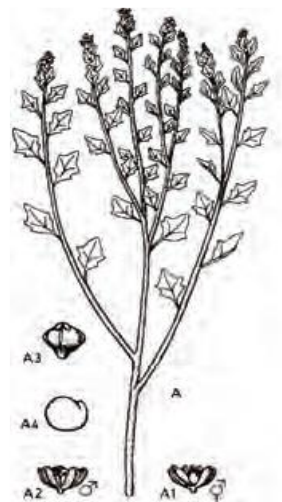


Figura 1. (A) Cañihua, (A1) flor hermafrodita, (A2) flor [29]

La cañihua puede recibir distintas denominaciones, según el origen, por ejemplo, en Perú se conoce como "kañiwa", en Bolivia como "Cañahua", y en otras zonas e idiomas suelen llamarse: "kañiwa", "kañawa", "kañahua", "kañagua", "q'itacañigua", "ayara", "cuchiquinua. La cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) es una especie perteneciente al reino Plantae, clasificada dentro de la división Magnoliophyta, lo que indica que es una angiosperma, y en la clase Magnoliopsida, correspondiente a las dicotiledóneas. Se encuentra dentro del orden Caryophyllales, que agrupa diversas especies adaptadas a múltiples ecosistemas, muchas de ellas con relevancia agrícola y nutricional. Forma parte de la familia Amaranthaceae, que incluye

otros cultivos andinos de gran valor alimentario, como la quinua y el amaranto. A nivel taxonómico, se ubica en la subfamilia Chenopodioideae, dentro de la tribu Chenopodieae, y pertenece al género *Chenopodium*, que engloba diversas especies de interés agrícola y nutricional. Su nombre científico completo, *Chenopodium pallidicaule* Aellen, hace referencia al botánico que la describió formalmente [28].

1.5.1.2. Clasificación

a. Por Ecotipos

La tabla 1, presenta ejemplos de dos ecotipos diferenciados de cañihua. El primero, denominado Saiwa, se caracteriza por un crecimiento vertical con entre 3 y 5 ramificaciones en la base, mostrando un desarrollo más estructurado. El segundo, identificado como Lasta, exhibe una disposición semi-vertical con más de 6 ramificaciones basales y un patrón de crecimiento menos definido. seca. Cada uno de estos ecotipos se distingue por el tono marrón o rosado de sus semillas. La variedad Saiwa destaca por su rápido ciclo de desarrollo, alcanzando la madurez en aproximadamente 70 días y presentando una menor cantidad de ramificaciones. En contraste, Lasta genera un mayor número de tallos y produce una mayor cantidad de biomasa. Además, ambos ecotipos pueden diferenciarse por la coloración de sus semillas, que varían entre tonalidades marrones y rosadas [30].

Tabla 1. Ecotipos de la Cañihua

Kañiwa Lasta (variedades de igual tamaño)	Kañiwa Saiwa (tallo más desarrollado y erecto)
Chilliwa, color rosado	Acallapi
Puca, color rojo	Puca
Morada, color oscuro	Morado
Condorsaya, color marrón a gris	Condorsaya

Fuente: [29]

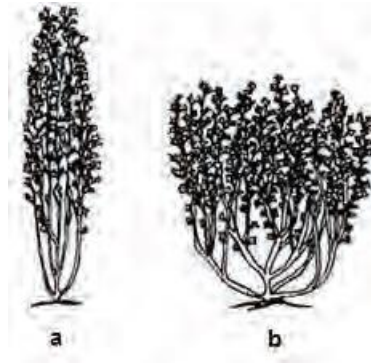


Figura 2. Ecotipos de la cañihua: (a) Saiwa, (b) Lasta [31]

b. Por coloración

La cañihua exhibe diversidad según el color de su tallo o hojas, presentándose en tonalidades como amarillo, rosa, naranja, rojo o morado. La cobertura de la mayoría de sus semillas varía desde un marrón oscuro hasta el negro.[30]



Figura 3. Semillas de la cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) [29]

1.5.1.3. Producción Nacional

En Perú, la cañihua tiene su principal zona de cultivo en el altiplano de la región de Puno, concentrándose especialmente en la provincia de Melgar, en distritos como Llalli, Macari, Ayaviri y Nuñoa. También se cultiva en las provincias de Azángaro, Huancané, San Román y Puno, destacando el distrito de Acora, así como en la provincia de Chucuito, específicamente en los distritos de Pomata y Kelluyo. Estas áreas agrícolas están estrechamente vinculadas con la población de origen Aymara. Adicionalmente, aunque en menor escala, la cañihua se cultiva en zonas de mayor altitud en las regiones de Arequipa y Cusco. Este pseudocereal es altamente resistente a bajas temperaturas, logrando germinar a 5°C, florecer a 10°C y alcanzar la madurez de sus semillas a 15°C. Además, las plantas adultas son capaces de tolerar las heladas

nocturnas. Su sistema radicular, caracterizado por raíces poco profundas, le permite desarrollarse en suelos con capas superficiales delgadas, adaptándose a un rango de pH que varía entre 4.8 y 8.5, y mostrando una resistencia moderada a la salinidad, lo que la convierte en una especie con gran capacidad de adaptación a condiciones agroecológicas adversas [32].

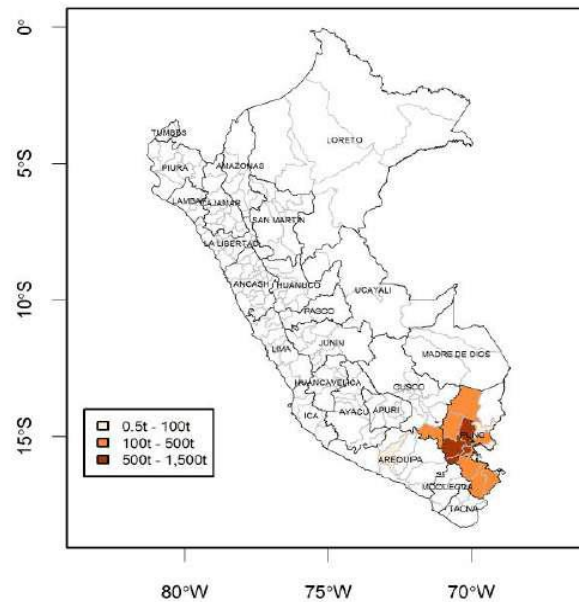


Figura 4. Zonas de producción de Cañihua, 2017.[32]

En la última década, la producción de cañihua ha fluctuado entre 4.000 y 5.000 toneladas, alcanzando un máximo de 5.100 toneladas hasta septiembre de 2018. Se identificó un incremento del 1,0% en el período analizado, atribuido al crecimiento tanto del área cosechada como del rendimiento, cada uno con una variación del 0,5%. A nivel regional, la región de Puno se posiciona como el principal productor de cañihua, contribuyendo con el 95,0% del total nacional, seguido por Cusco, que aporta 4,9%, mientras que Arequipa representa apenas el 0,1% de la producción del país. En términos de rendimiento, Arequipa lidera con 1.150 kg/ha, reflejando un incremento del 4,9% en comparación con su productividad en 2007. Por su parte, Puno alcanza 839 kg/ha, superando su propio rendimiento registrado en 2007 de 779 kg/ha. Finalmente, Cusco presenta una productividad de 458 kg/ha, posicionándose con el menor rendimiento entre las principales regiones productoras [32].

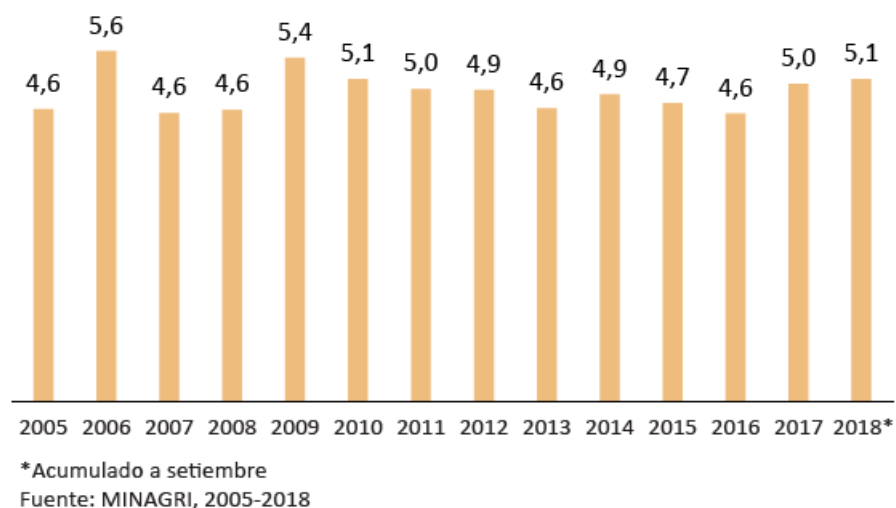


Figura 5. Perú: Producción de Cañihua (Miles de t)

1.5.1.4. Propiedades Nutricionales

La cañihua se distingue por su alto contenido proteico y su aporte de nutrientes de calidad superior a la quinua. Con un porcentaje de proteínas entre 15,7% y 18,8%, y una notable presencia de aminoácidos esenciales, es considerada un alimento funcional. Destaca su contenido de lisina (7,1%), un aminoácido clave para el desarrollo cerebral y poco común en fuentes vegetales. Su composición nutricional se complementa con carbohidratos (63,4%) y aceites vegetales (7,6%), proporcionando un alto valor energético. Además, es rica en minerales esenciales como calcio, magnesio, sodio, fósforo, hierro y zinc, así como en vitaminas, especialmente vitamina E y del complejo B. Debido a su perfil nutricional, es comparada con la leche por especialistas en alimentación. Asimismo, su elevado contenido de fibra y ácidos grasos insaturados la posiciona como un recurso estratégico para la seguridad alimentaria y un ingrediente con alto potencial para el desarrollo de productos innovadores en la industria alimentaria [33].

Tabla 2. Composición de algunos granos andinos en comparación con el trigo (g/100g)

Componentes	Quinoa	Cañihua	Trigo
Proteínas	11,7	14,0	8,6
Grasas	6,3	4,3	1,5
Carbohidratos	68,0	64,0	73,7
Fibra	5,2	9,8	3,0
Ceniza	2,8	5,4	1,7
Humedad (%)	11,2	12,2	14,5

Fuente: [33].

Los carbohidratos representan los principales compuestos químicos en los granos de quinua, kañiwa, amaranto y trigo sarraceno, siendo el almidón el más abundante en estos pseudocereales. El almidón presente en estos granos se caracteriza por su granulometría fina, lo que le otorga diversas propiedades tecnofuncionales de interés. No obstante, el almidón de la cañihua ha sido menos estudiado en comparación con el de otros pseudocereales. Además de los polisacáridos, tanto la quinua como la cañihua contienen pequeñas proporciones de azúcares simples. Cabe destacar que los cultivos andinos tradicionales presentan una concentración de azúcares mayor en comparación con los cereales convencionales, lo que influye en sus características nutricionales y funcionales [33].

Tabla 3. Contenido de azúcares en los granos andinos (g/100g materia seca)

Componentes	Quinoa	Cañihua	Kiwicha
Glucosa	1,70	1,80	0,75
Sacarosa	2,90	2,60	1,30
Maltosa	1,40	1,70	1,30

Fuente: [33]

El aceite de cañihua es una fuente rica en ácidos grasos poliinsaturados y contiene una concentración significativa de tocoferoles, superando incluso los niveles detectados en el aceite de maíz. Se ha identificado que la mayor proporción de ácidos grasos en los aceites extraídos de cañihua y quinua corresponde al Omega 6 (ácido linoleico), representando 50.2% en la quinua y 42.6% en la cañihua, valores

comparables a los del aceite de germen de maíz, que varían entre 45% y 65%. En términos de contenido, el Omega 9 (ácido oleico) es el segundo ácido graso más predominante, alcanzando 26.0% en el aceite de quinua y 23.5% en el de cañihua. Además, ambos aceites poseen Omega 3 (ácido alfa-linolénico), con una concentración de 4.8% en la quinua y 6% en la cañihua, lo que resalta su potencial como una fuente de lípidos saludables y funcionales [34].

La cañihua se distingue por su elevado contenido de fibra dietética, con una mayor proporción de fibra insoluble. Actualmente, el interés en su composición no solo se enfoca en la cantidad total de fibra presente, sino también en sus fibras dietéticas totales, debido a sus beneficios para la salud digestiva. Entre sus principales funciones se encuentran su capacidad para retener agua, atrapar cationes, absorber compuestos orgánicos y formar geles, lo que contribuye a su funcionalidad en la alimentación. La elevada presencia de fibra insoluble en la cañihua se atribuye a la presencia de perigonios, estructuras que recubren el grano y que no siempre son completamente eliminadas durante el procesamiento. Además, este pseudocereal representa una fuente significativa de minerales esenciales como calcio y hierro. Según estudios de la [29], la cañihua contiene entre 10 y 15 mg de hierro por cada 100 g y entre 87 y 141 mg de calcio por cada 100 g, dependiendo de la variedad. Asimismo, es rica en fósforo, con un contenido que varía entre 335 y 496 mg/100 g, lo que refuerza su importancia como un alimento altamente nutritivo y funcional [35], [36].

Tabla 4. Contenido de fibra insoluble, soluble y fibra dietética total (FDT) en los granos andinos (g/100g base seca)

Muestra	Fibra insoluble	Fibra soluble FDT
Amaranto	5,76	3,19
Cañihua	12,92	3,49
Quinua	5,31	2,49

Fuente: [35], [36].

Además, la cañihua es rica en compuestos bioactivos. El contenido de ácidos fenólicos varía entre 16,8 a 59,7 mg/100 g y el contenido de ácidos fenólicos solubles varía entre 7% a 61%. El contenido de flavonoides en la cañihua es excepcionalmente

alto, oscilando entre 36,2 y 144,3 mg/100 g [37], [38]

Tabla 5. Capacidad antioxidante en alimentos

Alimento	Capacidad antioxidante ($\mu\text{g trolox/g}$)
Kiwicha	660,37
Kañiwa	1509,80
Quinoa	2400,55
Maíz morado	4720,00
Camote morado	3167,00

Fuente: [35], [36].

1.5.2. Hongo Silvestre comestible

Los hongos comestibles se han considerado durante mucho tiempo una dieta funcional y nutricional debido a su bajo nivel de calorías, proteínas, lípidos, minerales y contenido de vitaminas. Los hongos son una excelente fuente de proteínas dietéticas, importantes para el crecimiento y la regeneración celular, el apoyo del sistema inmunológico, así como por sus funciones como enzimas y moléculas de señalización. Los hongos tienen más de 100 actividades terapéuticas, con usos medicinales primarios ricos en compuestos antiparasitarios, antibacterianos, antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antitumorales, anticoagulantes, citotóxicos, hipolipidémicos, antitrombóticos, hipocolesterolémicos, anti-VIH, antidiabéticos y hepatoprotectores [39], [40], [41].

1.5.2.1. Propiedades Nutricionales

Los hongos comestibles contienen una amplia variedad de metabolitos primarios y secundarios, los cuales ofrecen múltiples beneficios para la salud. Los metabolitos primarios son esenciales para el crecimiento y desarrollo de los organismos, y están compuestos principalmente por ácidos grasos poliinsaturados, proteínas y carbohidratos. Los hongos poseen un valor comparable al de la carne, los huevos y la leche, debido a que su perfil de aminoácidos es similar al de las proteínas de origen animal. Dentro de su composición, destacan polisacáridos estructurales como quitina, hemicelulosa, betaglucanos, alfa-glucanos, mananos, xilanos y galactanos, los cuales contribuyen a sus propiedades funcionales y beneficios fisiológicos [42], [43], [44].

Tabla 6.

Información nutricional de los hongos medicinales y sus posibles beneficios para la salud

Mushroom Species	Protein (g/kg)	Lipids (g/kg dw)	Carbohydrates (g/100 g)	Secondary metabolites	Bioactivity
<i>Agaricus blazei</i> Murill	312.9	1.82	59.42	Ergosterol, polysaccharides.	Immunoregulation and anti-fatigue Effect
<i>P. ostreatus</i>	19	3.0	4.6	Polysaccharides, phenolic compounds.	Anti-bacterial, anti-inflammatory
<i>A. vitellinus</i>	52.6	47.0	81.00	Phenolic compounds	Antioxidant, antimicrobial
<i>Agaricus campestris</i>	185.7	1.1	58.16	Steroids and polysaccharides	Anti-viral, anti-diabetic
<i>Armillaria mellea</i>	163.8	55.6	71.28	Tocopherols and ascorbic acid	Antioxidant, anti-radiation
<i>Lactarius deliciosus</i>	265.7	80.2	51.54	Terpenes and alkaloids	Anti-cancer
<i>Tricholoma imbricatum</i>	504.5	18.8	41.22	Amino acids, polysaccharides	Antioxidant, immunomodulatory
<i>R. olivacea</i>	168.4	19.9	43.38	β -(1,3)-glucans and β -(1,6)-glucans	Anti-inflammatory
<i>Boletus aereus</i>	178.6	4.4	72.83	Phenolic compounds	Antioxidant
<i>Lentinula edodes</i>	329.3	37.3	47.60	Eritadenine lentinan	Lower cholesterol and anticancer agent
<i>Pleurotus giganteus</i>	177	43.0	78.0	Polysaccharides, proteins	Antioxidant, anti-inflammatory
<i>Auricularia auricula</i>	42.0	83.0	82.80	Acidic polysaccharides	Decrease blood glucose
<i>Pleurotus sajor-caju</i>	192.3	27.0	63.40	Lovastatin	Lowers cholesterol
<i>B. edulis</i>	210.7	24.5	70.95	β -glucans	Antioxidant
<i>Lycoperdon echinatum</i>	235.2	12.2	65.83	Phenolic compounds, sugar	Antitumor, antioxidant
<i>Agaricus bisporus</i>	387.0	33	31.6	β -(1,6)-glucans, as also α -(1,6) and α -(1,4).	Antitumor, anti-cancer
<i>Suillus mediterraneensis</i>	243.2	26.1	45.43	Amino acids, terpenoids	Supports immune system
<i>Cantharellus cibarius</i>	46.81	14.7	37.53	Phenolic compounds, terpenes	Anti-cancer
<i>Calocybe gambosa</i>	154.6	8.3	69.82	Tocopherols and fatty acids	Antioxidant, immunomodulation
<i>S. variegatus</i>	175.7	33.1	63.76	Phenolic compounds, polyketides	Liver Protective, anti-fibrotic
<i>R. patagonica</i>	181.0	9.0	72.40	fatty and organic acids, soluble sugars	Antitumor, anti-oxidant
<i>P. eryngii</i>	1.3	1.0	8.3	<i>p</i> -hydroxybenzoic acid	Anti-diabetes
<i>Flammulina velutipes</i>	176.0	19.0	73.10	Ergothioneine proflamin	Antioxidant and anticancer activity

Los hongos producen ácidos orgánicos en función de su metabolismo primario, lo que ayuda en diversas funciones fisiológicas y adaptaciones ambientales. Estos ácidos orgánicos son el ácido cítrico, el ácido málico y el ácido oxálico, entre otros. Los hongos contienen una variedad de metabolitos secundarios que son beneficiosos para la salud humana. Estos metabolitos incluyen ácidos fenólicos, terpenoides, polifenoles, alcaloides, lactonas, esteroides, agentes quelantes de metales, análogos de nucleótidos, vitaminas, glicoproteínas, polisacáridos y particularmente β -glucanos. Estos metabolitos secundarios contribuyen a las características medicinales y nutricionales del hongo y se informa que tienen capacidades antioxidantes, antiinflamatorias, inmunomoduladoras y anticancerígenas, así como otras ventajas para la salud [44], [45].

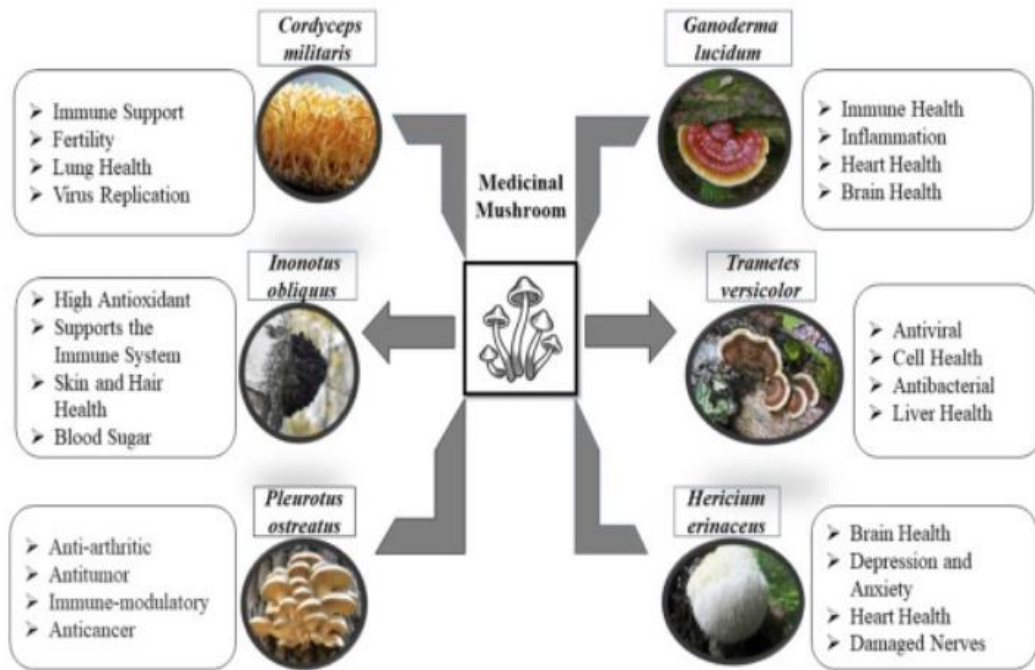


Figura 6. Hongos medicinales: el futuro de la atención sanitaria [14]

1.5.2.2. Propiedades Medicinales

a. Antioxidantes

Los hongos comestibles poseen un alto contenido de antioxidantes, lo que contribuye a la reducción del estrés oxidativo y protege contra el daño celular. Entre sus compuestos bioactivos, los polifenoles destacan por su notable capacidad antioxidante, permitiéndoles neutralizar radicales libres, disminuir el impacto del estrés oxidativo y ejercer efectos antiinflamatorios. Uno de los antioxidantes más potentes presentes en los hongos es el glutatión, reconocido como un elemento clave en los mecanismos de defensa celular contra el daño oxidativo. Este compuesto desempeña un papel fundamental en la protección celular al neutralizar radicales libres potencialmente dañinos y fortalecer los sistemas antioxidantes naturales del organismo. Además, los polisacáridos extraídos de especies como *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* y *Pleurotus ostreatus* han demostrado propiedades antioxidantes significativas. Estos compuestos pueden interactuar con especies reactivas de oxígeno (ROS), ayudando a mitigar el estrés oxidativo y, en consecuencia,

disminuir el riesgo de enfermedades crónicas [46], [47], [48].

b. Antiinflamatorio

Las propiedades antiinflamatorias de los hongos se han investigado ampliamente y se atribuyen a varios químicos bioactivos que se encuentran en estos hongos. Los β -glucanos interactúan con las células inmunitarias, en particular los macrófagos y las células dendríticas, que son componentes esenciales de la respuesta inmunológica. Los hongos producen triterpenos, que tienen cualidades antiinflamatorias [40]

c. Anticancerígeno

Los compuestos bioactivos presentes en los hongos comestibles desempeñan un papel fundamental en la modulación del sistema inmunológico, ya que influyen en la maduración, diferenciación y proliferación de las células inmunitarias. Estos compuestos tienen la capacidad de estimular respuestas inmunológicas dirigidas contra células tumorales, además de intervenir en vías de señalización molecular asociadas con el desarrollo y progresión del cáncer. La regulación de estos procesos ha demostrado efectos anticancerígenos en distintos tipos de células malignas, incluyendo cáncer de piel, pulmón, mama y próstata, lo que refuerza su potencial como agentes terapéuticos naturales en la prevención y tratamiento de enfermedades oncológicas [49].

d. Antidiabético

Los hongos comestibles han demostrado poseer propiedades antidiabéticas, actuando a través de mecanismos tanto dependientes como independientes de la insulina. Estas cualidades resaltan su potencial como una alternativa natural y saludable para el manejo de la diabetes. Entre sus mecanismos de acción se incluyen la inhibición de la absorción de glucosa, la estimulación en la producción de

insulina, la protección de las células beta pancreáticas, el refuerzo del sistema antioxidante, la modulación del metabolismo de los carbohidratos y la reducción de procesos inflamatorios. El efecto hipoglucemiante de los hongos se atribuye principalmente a su alto contenido de polisacáridos, en especial β -D-glucanos, así como a la presencia de vitamina D. Se ha comprobado su eficacia en el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2 (DM2), ya que contribuyen a disminuir el estrés oxidativo y actúan como prebióticos, favoreciendo el equilibrio del microbiota intestinal. Asimismo, se ha evidenciado que los hongos ejercen un efecto inhibitor sobre enzimas digestivas, lo que ralentiza la descomposición de los carbohidratos y contribuye al control de los niveles de glucosa en sangre [50], [51], [52].

e. Antitumoral

Los hongos tienen capacidades antitumorales debido a varios químicos bioactivos que inhiben el crecimiento de los tumores, inducen la apoptosis y previenen la propagación del tumor. Los hongos demuestran diferentes efectos antitumorales a través de múltiples mecanismos. Se ha demostrado que inhiben el crecimiento tumoral, inducen apoptosis (muerte celular programada), previenen la formación de tumores y exhiben actividad antitumoral contra diferentes tipos de tumores. Además, los hongos pueden ayudar a prevenir la metástasis tumoral, inhibir las interacciones de los puntos de control inmunológico para superar la resistencia del tumor y atacar la vía de señalización PI3K/AKT del cáncer. Estos hallazgos resaltan el potencial de los hongos como fuente natural de compuestos con propiedades antitumorales [53].

f. Anti-covid

Se ha descubierto que una variedad de extractos de hongos y biocompuestos derivados de hongos tienen propiedades antivirales al

prevenir la multiplicación viral. Estos compuestos bioactivos han demostrado capacidad para obstruir diversas fases del ciclo de replicación viral, deteniendo la propagación y multiplicación del virus. Al apuntar a enzimas, proteínas o receptores virales esenciales, estos compuestos bioactivos de hongos pueden inhibir la replicación viral y reducir la carga viral. Los hongos contienen propiedades inmunomoduladoras que les permiten gestionar y mejorar la respuesta del sistema inmunológico. Estos efectos pueden ayudar a fortalecer los mecanismos defensivos del cuerpo y su capacidad para combatir infecciones virales. Se han encontrado importantes compuestos bioactivos antivirales, incluidos ergosterol, heliantriol F, velutina y colossolactona [53], [54], [55].

1.5.3. Cupcakes

Los muffins son productos de panificación tradicionalmente elaborados con harina de trigo, aceite, huevo, azúcar y leche. Su preparación implica un proceso de fermentación química, lo que les confiere una miga húmeda, textura esponjosa, superficie plana y un volumen elevado. Durante el mezclado, la estabilidad de las burbujas de aire y la formación de corrientes de convección desempeñan un papel crucial en la calidad final del producto. La incorporación de aire en la masa se evalúa mediante la gravedad específica, que se obtiene dividiendo el peso de la masa entre el peso de un volumen equivalente de agua. El proceso de mezclado tiene como objetivo introducir burbujas de aire en la masa, favoreciendo la formación de una estructura porosa durante el horneado. A medida que aumenta la cantidad de burbujas, se reduce la densidad de la masa, lo que impacta en el volumen final del producto y en la textura de la miga, generando un producto más ligero y aireado [56], [57], [58].

La masa para muffins es una formulación compleja en la que sus ingredientes interactúan para lograr la estructura final del producto. En términos generales, una receta estándar contiene una elevada proporción de azúcar, junto con cantidades variables de grasa, harina, huevos y agentes leudantes. Además, se suelen incluir otros aditivos como emulsionantes, conservantes y leche en polvo para mejorar su estabilidad y vida útil. Los muffins se distinguen por su textura porosa y volumen considerable, lo

que requiere una masa capaz de retener numerosas burbujas de aire. Estas burbujas se generan durante el proceso de mezclado y, posteriormente, actúan como núcleos de expansión cuando el dióxido de carbono liberado por el polvo de hornear provoca el crecimiento de la masa durante la cocción. Los huevos, en particular la clara, junto con las proteínas presentes en la leche, juegan un papel crucial como estabilizadores de espuma, ya que retrasan la fusión de las burbujas de aire. Para lograr una textura más suave y evitar la sensación de sequedad en boca, se emplean aceites y mantecas vegetales. Durante la cocción, la gelatinización del almidón de la harina y la desnaturalización de las proteínas permiten fijar la estructura del producto. La sacarosa influye en este proceso al elevar la temperatura a la que se producen estos cambios, otorgando el tiempo necesario para que la masa incremente su volumen antes de solidificarse [58].

El método de elaboración de pasteles con masa de harina se basa en dos etapas separadas de incorporación de aire que luego se combinan antes de completar la mezcla. Consiste en dividir la harina en dos porciones, la primera para batir con las grasas y la segunda para mezclar con la masa en una etapa posterior. Al mismo tiempo que se mezclan la harina y la grasa, se baten los huevos y el azúcar con una segunda máquina hasta formar una espuma. Normalmente, las grasas se baten con un peso igual (o un poco menos) de harina hasta obtener una mezcla cremosa. Se recomiendan aproximadamente 400 g de harina por 450 g de grasa (14 oz de harina por 1 libra de grasa). Se bate el huevo con su propio peso de azúcar. Este batido no tiene por qué ser tan minucioso como para los bizcochos, y la aireación no debe ir demasiado lejos o los bizcochos tendrán un volumen demasiado grande y tendrán una miga friable. Unos 5 o 6 minutos a velocidad segunda o rápida con una batidora planetaria suelen ser suficientes. Existe una mayor posibilidad de obtener una masa demasiado ligera (baja densidad) cuando se utiliza este método que cuando se hacen pasteles con el método de masa de azúcar. Cuando la espuma de huevo y azúcar esté lista se añade a la masa de harina y grasa, mientras la máquina funciona a velocidad moderada. La espuma se puede agregar en porciones pequeñas; generalmente en cuatro o cinco partes, y se bate cada porción antes de agregar la siguiente. Alternativamente, se puede hacer funcionar como un flujo continuo. Cuando ambas masas estén mezcladas, se puede mezclar la harina y el polvo de hornear restantes, ya sea a mano o a la velocidad más lenta de la

máquina [59].

Durante la elaboración de muffins, que incluye el proceso de horneado, se generan numerosos compuestos derivados de la reacción de Maillard, los cuales son responsables de la coloración, el desarrollo del sabor y la textura característica del producto. A medida que avanza la cocción, se produce una pérdida gradual de humedad, estableciéndose un gradiente de humedad que va desde el interior del muffin hacia su superficie. En la capa externa, el contenido de agua se reduce rápidamente debido al aumento de temperatura, lo que provoca la degradación térmica de los azúcares y el inicio de las primeras reacciones de Maillard, dando lugar a la formación de la corteza oscura típica de estos productos horneados. En contraste, en el interior del muffin, la pérdida de agua es menor, manteniéndose una actividad de agua relativamente alta, y la temperatura no supera los 105°C. Bajo estas condiciones, las reacciones de Maillard ocurren a un ritmo más lento, lo que explica el tono más claro de la miga. La textura del producto puede verse influenciada por la incorporación de fibra, ya que esta modifica la estructura interna. La estabilidad durante el almacenamiento o vida útil de los muffins se define por la conservación de sus características sensoriales y físicas, tales como la suavidad de la miga, la compresibilidad y el contenido de humedad, elementos clave en la percepción de frescura del consumidor [60].

II. MATERIALES Y MÉTODO

2.1. Tipo y Diseño de Investigación

La investigación fue aplicada, dado que se evalúa el grado de aceptación de cupcake con la sustitución haciendo uso de un sustituto parcial de harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*) en el contenido total de harina trigo.

El diseño de investigación fue experimental transversal, prospectivo, analítico dado que existe manipulación de variables independiente (formulaciones de cup cake) y se estudia su influencia sobre las variables dependientes. Además, se toman los datos una sóla vez, obtenidos a partir de los objetivos propuestos.

2.2. Variables, Operacionalización

Variables independientes:

- Harina de hongo comestible.
- Harina de cañihua.
- Harina de trigo.

Variables dependientes:

- Análisis sensorial
- Análisis fisicoquímico
- Características nutricionales

Tabla 7. Operacionalización de la variable

Variable de estudio	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Instrumento	Tipo de variable	Escala de medición
Variable independiente: Formulación de cup cake: Harina de trigo – harina de hongo – harina de cañihua	Es la combinación de ingredientes y procesos para crear un cupcake de alta calidad, considerando aspectos como la calidad de la harina, el tipo de equipo, el proceso de elaboración y la naturaleza del producto terminado.	Método gravimétrico	Harina de trigo Harina de hongo Harina de cañihua	Masa	70% - 100% 0% – 30 % 0% – 30%	Balanza	Numérica	Intervalo
Variable dependiente: Características Sensoriales, fisicoquímicas y nutricionales	Son parámetros para evaluar la calidad de un alimento.	Perfil sensorial (Escala hedónica)	Olor, sabor, textura, apariencia y aceptabilidad general. Humedad Acidez	Lineal método de regla	10 cm	Ficha de evaluación sensorial	Categórica	Ordinal
		Parámetros fisicoquímicos	pH	Métodos AOAC	0 -100% 0 – 0.60 0 – 14	Estufa Equipo titulador pHmetro	Numérica	Intervalo
		Parámetros nutricionales	Proteínas Fibra Grasa Cenizas Carbohidratos	Métodos AOAC y NTP	0 – 100%	Kjeldahl Gravimétrico Soxhlet Mufla Por diferencia Gravimétrico	Numérica	Intervalo

2.3. Población de estudio, muestra, muestreo y criterios de selección

La población en estudio fue conformada por granos de cañihua obtenido del mercado Modelo de Chiclayo y hongos procedentes del distrito de Incahuasi.

La muestra consistió en granos seleccionados de cañihua y hongos en buenas condiciones fisiológicas, procedentes del distrito de Incahuasi.

El Muestreo, fue del tipo por conveniencia no probabilístico, dado que se necesitó reducir la variabilidad en la muestra tomada.

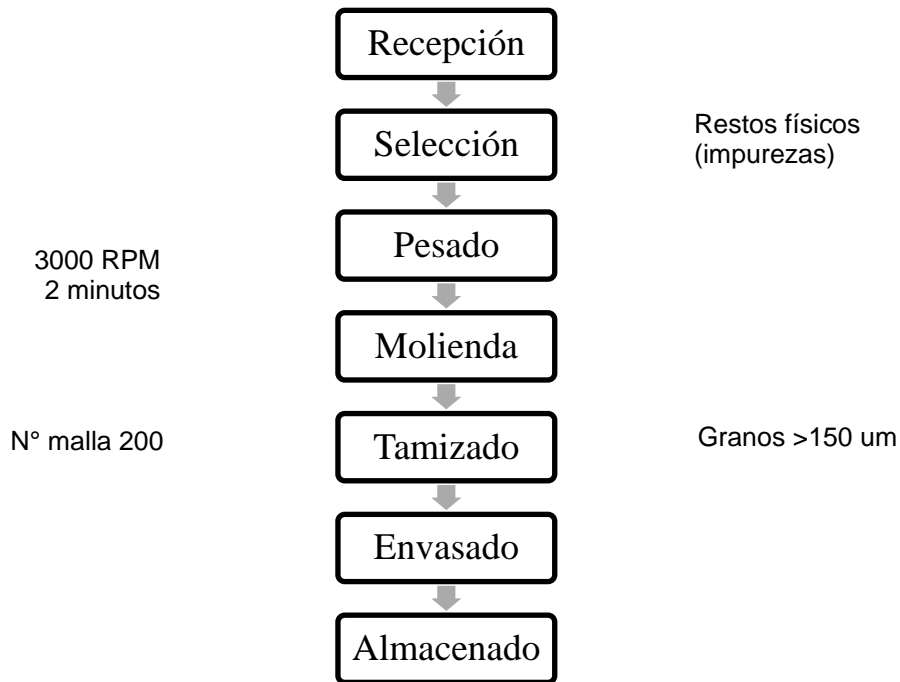
Los Criterios de selección, utilizados consistió en las buenas condiciones de calidad, a través de la observación aplicada a las muestras.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Elaboración de harina de cañihua-hongos

Para la obtención de harina de cañihua se procedió de la siguiente manera:

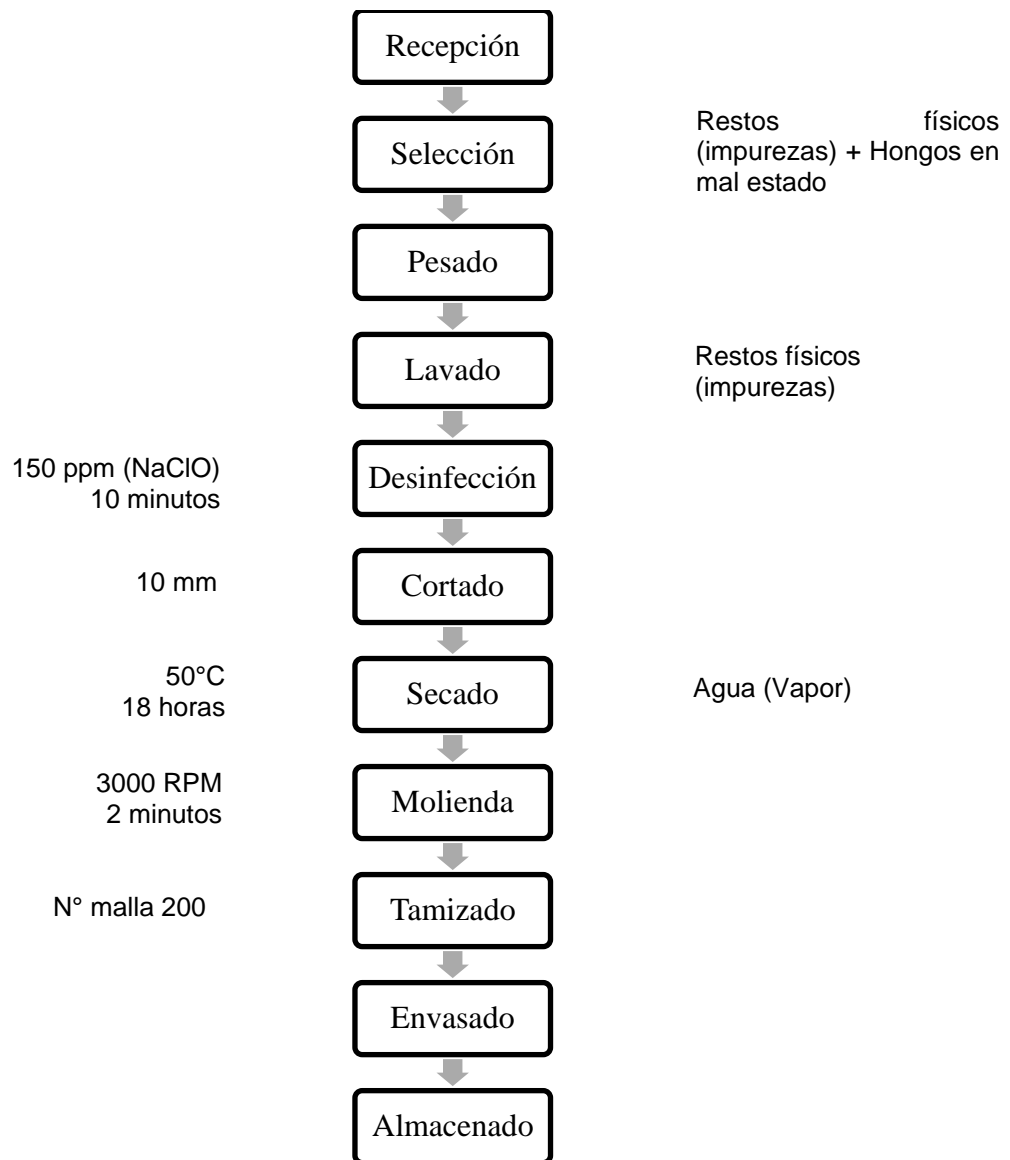
- a. **Recepción y Selección:** Se utilizó cañihua comprada del mercado Modelo de Chiclayo, y se eliminó las impurezas como tierra, pajilla, hojas, así como otros materiales extraños. Así mismo, se seleccionó los granos de buena calidad, eliminando los granos dañados.
- b. **Pesado:** Se realizó el pesado de los granos de cañihua en buen estado, haciendo uso de balanza gramera calibrada.
- c. **Molienda:** Se utilizó una licuadora de alta potencia, donde se colocaron los granos de cañihua para ser convertidos en granos de tamaño muy pequeño.
- d. **Tamizado:** Se procedió a utilizar un tamiz Taylor para separar los granos finos de los medianos, con un tamaño de malla N° 200.
- e. **Envasado y Almacenamiento:** Se procedió a empacar en bolsas herméticas y almacenar los granos finos de cañihua, los cuales fueron utilizados posteriormente para la formulación de cupcakes.



Para la obtención de harina de hongo comestible se procedió de la siguiente manera:

- a. **Recepción:** Se recibió los hongos comestibles (*Suillus luteus*) provenientes del distrito de Incahuasi.
- b. **Selección:** Se eliminó los hongos comestibles con daños físicos, mecánicos, biológicos y otras anomalías extrañas, quedando sólo materia prima en buenas condiciones de calidad.
- c. **Pesado:** Con la ayuda de una balanza gramera, se procedió a pesar los hongos comestibles seleccionado.
- d. **Limpieza y Desinfección:** Se procedió a realizar el lavado con agua en proporción (1:3), para posteriormente desinfectar usando NaOCl a 150 ppm en relación a (1:2), por 10 minutos.
- e. **Cortado:** Usando un cuchillo, se realizaron los cortes de 20 x 20 mm, con la finalidad de tener un secado más homogéneo.
- f. **Secado:** Se realizó la deshidratación del producto en una secadora de bandejas a una temperatura de 50°C, por un tiempo de 18 – 24 horas aproximadamente, hasta alcanzar una humedad de 3% – 5%.
- g. **Molienda:** Se realizó la reducción de tamaño de partículas del hongo comestible seco, con la ayuda de un molino universal.

- h. Tamizado:** Se procedió a utilizar un tamiz Taylor para obtener granos finos uniformes, con un tamaño de malla N° 200.
- i. Envasado y Almacenamiento:** Se procedió a empacar en bolsas herméticas y almacenar los granos finos de hongo comestible, los cuales fueron utilizados posteriormente para la formulación de cupcakes.



2.4.2. Caracterización de harina de cañihua y hongos

- a. Índice de absorción de agua (IAA):** Se utilizó el método de AOAC 54-50. Este método consistió en mezclar 1 g de muestra de harina con 10 mL de agua destilada en un tubo de ensayo, se agitó la mezcla vigorosamente durante 30 segundos y se dejó reposar durante 30 minutos a temperatura ambiente. Posteriormente, se

- centrifugó a 3,000 rpm durante 10 minutos. El peso del sedimento se registró, y el índice se calculó como la relación entre el peso del sedimento y el peso inicial de la muestra seca.
- b. Índice de solubilidad:** Se utilizó el método de Anderson y otros (1969). Este índice se determinó utilizando el sobrenadante obtenido del ensayo de IAA. Se secó el sobrenadante en una estufa a 105 °C y se calculó el porcentaje de sólidos solubles presentes en relación con el peso inicial de la muestra.
 - c. Poder de hinchamiento:** Se utilizó el método de Robertson et al., (2000) y Aguilera (2009). Este método consistió en mezclar 1 g de harina con 10 mL de agua destilada, se calentó a 60 °C durante 30 minutos, se dejó enfriar y se centrifugó a 3,000 rpm durante 15 minutos. El volumen del gel formado (sedimento) se midió directamente en un tubo graduado y se reportó en mililitros por gramo de muestra seca
 - d. Temperatura de gelatinización:** Se utilizó la Técnica usada por Grace, (1977), que consistió en el pesado una cantidad específica de harina (5-10 mg) y se mezcló con una proporción de agua (1:3, harina: agua) en una cápsula sellada. La muestra se calienta desde 25 °C hasta 120 °C a una velocidad de 10 °C/min. La temperatura de inicio, pico y final se registran y representan la gelatinización del almidón.
 - e. Humedad:** Se utilizó el Método de la Gravimetría según la AOAC 2000. Se pesaron entre 5 g de muestra y se colocaron en una estufa a 105 °C hasta alcanzar un peso constante. El porcentaje de humedad se calculó a partir de la diferencia entre el peso inicial y el peso final de la muestra.
 - f. Cenizas Totales:** Se utilizó el Método Gravimétrico por calcinación según la AOAC 923.03. Se pesaron entre 2 g de muestra seca en un crisol previamente tarado. La muestra fue incinerada en un horno mufla a 550 °C durante 4 a 6 horas, hasta obtener cenizas blancas o grises claras. Posteriormente, el crisol se dejó enfriar en un desecador antes de ser pesado nuevamente. El contenido de cenizas totales se expresó como porcentaje respecto al peso inicial de la muestra.
 - g. Acidez (expresado en ácido láctico):** Se realizó por titulación con una solución de hidróxido de sodio (NaOH). Se preparó una suspensión utilizando 5 g de harina disueltos en 50 mL de agua destilada. La mezcla se tituló con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. La acidez se expresó como porcentaje de ácido láctico o ácido cítrico, dependiendo de la matriz analizada (ISO 750:1998).
 - h. pH:** Se realizó por medición con el potenciómetro. Para ello, se mezclaron 10 g de

harina con 100 mL de agua destilada y se agitó la mezcla durante 30 minutos (ISO 15023:2008).

2.4.3. Elaboración de los cupcakes formulado a partir de harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*)

A continuación, se detallan las etapas del proceso para la elaboración de cupcakes con distintas formulaciones de harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*):

- a. **Recepción:** Se recibió las materias primas (harina de trigo, harina de hongo comestible y harina de cañihua) e insumos a utilizar (azúcar blanca, mantequilla, leche fresca, polvo para hornear, bicarbonato, sal, huevos y esencia de vainilla).
- b. **Pesado:** En función a las formulaciones (tabla 8) requeridas para cada tratamiento en base a 600 g, se realizó el pesado de materias primas e insumos, haciendo uso de la balanza gramera marca VENTUS.

Tabla 8. Formulación en base de cup cake basada en la proporción de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible

Formulación	Harina de trigo (%)	Harina de hongo comestible (%)	Harina de cañihua (%)	Harina de trigo (g)	Harina de hongo comestible (g)	Harina de cañihua (g)
<i>Con proporciones predominantes</i>						
F3	70.0%	4.9%	25.1%	420.0	29.7	150.3
F4	74.5%	19.4%	6.1%	446.9	116.4	36.7
F10	79.9%	9.7%	10.4%	479.6	58.2	62.1
F12	75.4%	4.0%	20.6%	452.4	24.1	123.5
F13	90.1%	4.9%	5.0%	540.6	29.3	30.1
F14	70.0%	13.4%	16.6%	420.0	80.6	99.4
<i>Sin proporciones predominantes</i>						
F1	100.0%	0.0%	0.0%	600.0	0.0	0.0
F2	85.0%	15.0%	0.0%	510.0	90.0	0.0
F5	100.0%	0.0%	0.0%	600.0	0.0	0.0
F6	85.0%	0.0%	15.0%	510.0	0.0	90.0

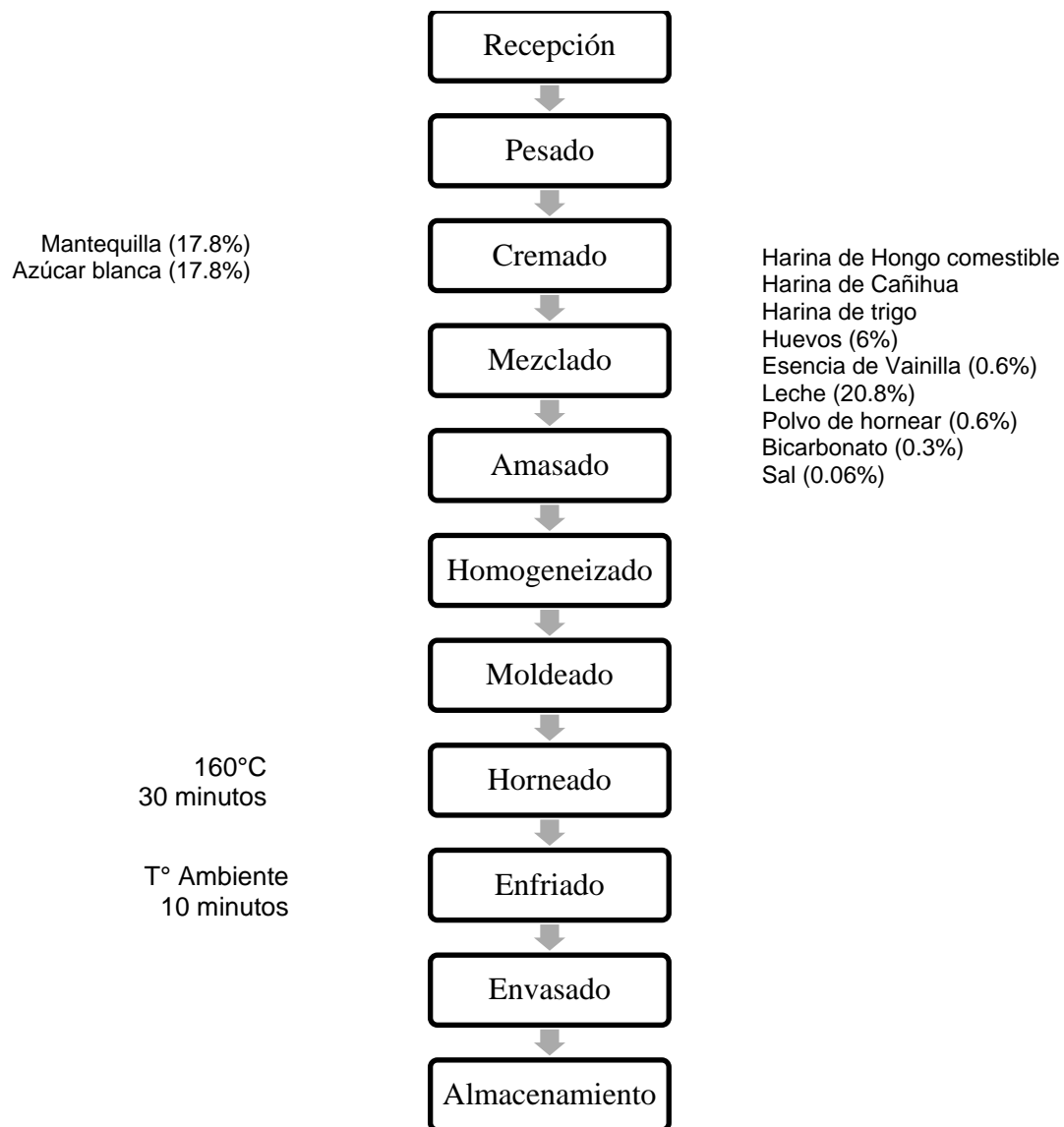
F7	70.0%	0.0%	30.0%	420.0	0.0	180.0
F8	70.0%	30.0%	0.0%	420.0	180.0	0.0
F9	85.0%	15.0%	0.0%	510.0	90.0	0.0
F11	70.0%	30.0%	0.0%	420.0	180.0	0.0

Tabla 9. Insumos agregar a cada formulación de cup cake

Ingredientes	Cantidad (g)
Azúcar blanca	300
Huevos	100
Esencia de vainilla	10
Mantequilla	300
Leche	350
Polvo de hornear	10
Bicarbonato	5
Sal	1

- c. **Cremado:** En esta etapa, se batió la mantequilla junto con la azúcar blanca durante aproximadamente 5 a 7 minutos. El objetivo fue disolver completamente el azúcar y obtener una pasta de textura cremosa que sirviera como base para las siguientes etapas.
- d. **Mezclado:** El proceso continuó con el batido de las claras de huevo en una batidora durante 3 a 5 minutos, hasta alcanzar el punto de nieve. Estas claras se incorporaron cuidadosamente a la crema de mantequilla y azúcar obtenida en la etapa anterior, logrando una mezcla uniforme. Posteriormente, se añadieron las harinas de trigo, cañihua y hongo comestible, junto con los demás ingredientes: sal, bicarbonato de sodio, polvo para hornear, esencia de vainilla y leche fresca. Esta mezcla se trabajó hasta integrar todos los componentes. mezclándose hasta obtener una masa homogénea.
- e. **Amasado:** Una vez añadidos todos los ingredientes, se trasladó la mezcla a una amasadora. Allí se amasó de 10 a 15 min hasta obtener una masa completamente homogénea y consistente, lista para ser utilizada en la preparación del producto final.

- f. Homogeneizado:** Se verificó que la masa tuviera una textura uniforme y libre de grumos, asegurando una adecuada distribución de todos los ingredientes antes de proceder con las etapas finales de elaboración.
- g. Moldeado:** Se vertió la masa homogénea en moldes de acero inoxidable de una capacidad aproximada de 10 g.
- h. Horneado:** Se llevó la masa homogénea en moldes al horno, a una temperatura de 160 °C, por un espacio de 30 minutos. Cabe precisar a cada molde, se rotuló a fin de conocer a que formulación pertenecía.
- i. Enfriado:** Se enfriaron los moldes con cupcakes a temperatura ambiente por un tiempo aproximadamente de 10 minutos.
- j. Envasado:** Se retiraron los cupcakes de los moldes, y fueron colocados en bolsas herméticas de manera individual, las cuales fueron cerradas con maquina selladora.
- k. Almacenamiento:** Se almacenó los cupcakes a temperatura ambiente, en una lugar fresco y ventilado.



2.4.4. Evaluación sensorial de cupcakes formulados

Se realizó el análisis del sabor, color, sabor, aceptabilidad general y textura de las distintas pruebas formulada de cupcakes, con 30 panelistas semientrenados, empleándose una escala no estructurada de 0 a 10, donde el nivel más bajo “0” indica “totalmente desagradable” y el nivel más alto “10” indica totalmente agradable, como se detalla a continuación:

- 1: Totalmente desagradable.
- 2: Muy desagradable.
- 3: Desagradable.
- 4: Poco desagradable.
- 5: Neutral
- 6: Regular.

- 7: Poco agradable.
- 8: Agradable.
- 9: Muy agradable.
- 10: Totalmente agradable.

El procedimiento consistió en rotular cada formulación, y fue entregándose a cada panelista la ficha de evaluación (detalla en anexos). Se dio las indicaciones, y se empezó por entregar la primera formulación, esperando un espacio de 5 minutos para completar la ficha, y así se procedió con todas las 14 formulaciones.

2.4.5. Evaluación fisicoquímica de cupcakes formulados

- a. **Humedad:** Se utilizó el Método de la Gravimetría según la AOAC 2000
- b. **Cenizas Totales:** Se utilizó el Método Gravimétrico según la AOAC 923.03
- c. **Acidez (expresado en ácido láctico):** Se realizó por titulación con una solución de hidróxido de sodio (NaOH), según el método indicado por la N.T.P 206 013 1981 (Revisada el 2011).
- d. **pH:** Se determinó por el método de la Norma Técnica Peruana 209.059 (1974). Determinación del pH (Método potenciométrico)
- e. **Color:** Se utilizó el colorímetro (marca. KONICA MINOLTA) siguiendo el sistema CIElab, determinándose los valores de L*luminosidad (negro 0/ Blanco 100), a*(verde-/ rojo+) y b*(azul-/ amarillo +). La cromacidad (C*) y el ángulo de tonalidad (h*), fue calculado según Minolta (1993).

$$Cromaticidad = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

$$Angulo\ de\ tonalidad = \tan^{-1}(b^*/a^*)$$

2.4.6. Evaluación nutricional de la mejor formulación de cupcakes

Con el software estadístico Design Expert Versión 7, se determinó el cupcake óptimo, a la cual se midió el siguiente perfil nutricional:

- a. **Humedad:** Se utilizó el procedimiento descrito en la norma técnica peruana N.T.P 206.011:1981 (Revisada el 2011) para bizcochos, galletas, pastas y fideos.
- b. **Cenizas:** Se utilizó el método expuesto en la N.T.P 206.007:1976 (Revisada el 2011) dirigido para bizcochos, galletas, pastas y fideos.
- c. **Proteínas:** Se aplicó el método AOAC 992.15, utilizando el equipo kjeldahl.
- d. **Grasa:** Se aplicó el método: NTP 206.017:1981 (Revisada el 2011), utilizando el equipo Soxhlet.

- e. **Carbohidratos:** Se aplicó un análisis proximal utilizando el método por diferencia MS-INN. (Collazos 1993 – FAO 2002). Se calculó según la fórmula de alimentos procesados, restando del 100% la suma de los porcentajes de humedad (H), ceniza (C), grasa (G) y proteínas (P).
- f. **Fibra:** Se aplicó el método AOAC 985.29.

2.4.7. Vida Útil

Se estableció la duración de la vida anaquel del cupcake mediante la aplicación del método de evaluación sensorial, el cual se sometió a un análisis estadístico utilizando la regresión lineal. En este análisis, las variables de estudio fueron los días de almacenamiento en comparación con la valoración sensorial de cada cupcake, según la escala hedónica. La fórmula aplicar fue:

$$y = a + bx$$

Donde:

“Y”: días de almacenamiento

“X”: evaluación sensorial (escala hedónica)

Además, se determinaron tanto el límite superior como el límite inferior, se evaluó el coeficiente de determinación y el intervalo de confianza, y se llevó a cabo una prueba de hipótesis con un nivel de significancia del 0.05. El periodo durante el cual el cupcake se mantiene en condiciones ideales o aceptables se identifica como el tiempo de vida útil.

2.5. Procedimiento de análisis de datos

Se recopilaron y organizaron los datos en hojas de Excel, acorde al cumplimiento de los objetivos específicos. En primer lugar, se determinó el promedio y la desviación estándar de las características fisicoquímicas de la harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y de la harina de cañuhia utilizando el software estadístico SPSS. En segundo lugar, se utilizó el software Design Expert (versión 7), aplicando el diseño estadístico de mezclas, para evaluar el efecto de las características sensoriales y fisicoquímicas de los cup-cake formulados a partir de la sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*). Se procedió al análisis de los datos mediante la técnica de ANOVA (Análisis de Varianza), la cual facilitó la evaluación del comportamiento de las variables. Utilizando el valor de P ($P < 0.05$), se determinó si existió un impacto en los parámetros evaluados. Dado que el valor fue menor a (0.005), Usando la prueba estadística de comparación de medias, así como la elaboración de gráficos de contorno y superficie respuesta.

El objetivo fue identificar de manera estadística las diferencias significativas o similitudes entre los valores promedio obtenidos de cada tratamiento en estudio con respecto a los parámetros evaluados.

En tercer lugar, con el mismo software estadístico Design Expert (versión 7), se realizó la optimización de los parámetros para determinar la mejor formulación de cupcakes. Para ello, se minimizó la cantidad de Harina de trigo y se maximizó la cantidad de Harina de Hongo comestible y Harina de Cañihua, del mismo modo se maximizó los parámetros sensoriales.

En cuarto lugar, se determinó el promedio y la desviación estándar de las características nutricionales de la mejor formulación de cupcakes, con la ayuda del software SPSS.

2.6. Criterios éticos

Esta investigación se desarrolló conforme a los principios éticos establecidos en el Informe de Belmont, así como a los códigos de ética definidos por la Universidad Señor de Sipán. Se garantizó el cumplimiento de los estándares científicos y éticos en todas las etapas del estudio, priorizando el rigor metodológico y la integridad en la gestión y ejecución de la investigación. Se promovió la honestidad intelectual, evitando omisiones o distorsiones de la información, y se mantuvo una postura de objetividad e imparcialidad en las relaciones profesionales y laborales asociadas al proyecto. Asimismo, se asumió la responsabilidad tanto con los resultados obtenidos como con el prestigio institucional de la Universidad.

Se respetaron los derechos de propiedad intelectual, asegurando el reconocimiento adecuado de los aportes de los autores y contribuyentes. La difusión de los hallazgos se realizó con veracidad, justicia y transparencia, evitando conflictos de interés. Además, se garantizó el manejo responsable de la biodiversidad y el medio ambiente, aplicando prácticas sostenibles. Se citó y referenció correctamente cada fuente utilizada, siguiendo la normativa internacional. Toda la información recopilada se manejó con confidencialidad y se empleó exclusivamente con fines científicos. Finalmente, para la evaluación sensorial de los cupcakes formulados, se obtuvo el consentimiento y asentimiento informado de los participantes, garantizando su participación voluntaria y el cumplimiento de los principios éticos en la investigación con seres humanos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

3.1.1. Características fisicoquímicas y tecno-funcional de la Harina de hongo comestible

Se realizó el análisis fisicoquímico de la harina de hongo comestible, a fin de conocer sus distintas propiedades acordes a los métodos estandarizados internacionalmente, lo que aseguran la validez y confiabilidad. Se determinó un alto nivel de proteínas ($22.92\% \pm 0.88$), fibra ($2.33\% \pm 0.04$) y bajo en grasas ($3.89\% \pm 0.05$). El nivel de humedad ($4.81\% \pm 0.12$) y carbohidratos ($56.93\% \pm 1.22$), se encontró dentro de la normativa nacional de harinas. Cabe destacar la harina de cañihua no se realizó su análisis fisicoquímico, debido a ser un producto comercial, con destacadas referencias sobre dichas propiedades.

Tabla 10. Características fisicoquímicas de harina de hongo comestible

Propiedad	Cantidad (PROM±DE)
Humedad (%)	4.81 ± 0.12
Cenizas (%)	9.12 ± 0.21
Grasas (%)	3.89 ± 0.05
Proteínas (%)	22.92 ± 0.88
Fibra (%)	2.33 ± 0.04
Carbohidratos (%)	56.93 ± 1.22

Fuente 7. Elaboración propia

Así mismo, se realizó el análisis de las características tecnofuncionales de las harinas, a fin de conocer su comportamiento reológico de masas. Se determinó que la harina de trigo tuvo menor índice de absorción de agua (0.0051 ± 0.0031), y mayor la harina de hongo comestible (0.1877 ± 0.0272), lo que significa que tiene una mayor capacidad de retención de agua, lo que es beneficioso para la elaboración de productos de panificación. Cabe destacar la capacidad de la harina para absorber agua afecta directamente la formación de la masa, la estructura del pan y la calidad del producto final. Por lo tanto, comprender y controlar el índice de absorción de agua es crucial para lograr resultados consistentes y deseados en la producción de alimentos.

Por otro lado, se determinó un mayor índice de solubilidad de la harina de trigo (39.735 ± 13.3873) y en menor proporción en la harina de hongo comestible (1.5833 ± 0.3592),

esto significa que la harina de trigo tiene mayor capacidad de disolverse en agua, y la mayor cantidad de componentes solubles en agua como proteínas, azúcares y otros compuestos, que afectan la textura, la viscosidad y otras características de los productos de panificación.

De igual manera, se determinó un mayor poder de hinchamiento en la harina de hongo comestible (0.1594 ± 0.0645) y en menor proporción en la harina de trigo (0.0096 ± 0.0019), esto significa que la harina de hongo comestible cuenta con buenas propiedades para la retención de agua y expansión, lo que puede ser beneficioso en la producción de productos de panificación. Cabe resaltar medir el poder de hinchamiento de una harina alimenticia es importante para comprender cómo se comportará la harina durante la cocción y para ajustar las formulaciones de productos alimenticios con el fin de lograr las características deseadas en términos de textura y estructura.

Tabla 11. **Características tecnofuncionales de las harinas utilizadas en la formulación de cupcakes**

Propiedad Tecno funcional	Harina de Trigo	Harina de Hongo comestible	Harina de cañihua
Índice de absorción de agua (g/g)	0.0051 ± 0.0031	0.1877 ± 0.0272	0.1023 ± 0.01
Índice de solubilidad (g/g)	39.735 ± 13.3873	1.5833 ± 0.3592	5.0693 ± 0.1463
Poder de hinchamiento (g/g)	0.0096 ± 0.0019	0.1594 ± 0.0645	0.053 ± 0.0085

Fuente 7. Elaboración propia

3.1.2. Evaluación sensorial de las formulaciones de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua

Se determinó la evaluación sensorial de las 14 formulaciones de cupcakes, calificado por 30 panelistas con escala hedónica (1 al 10) de los parámetros Olor, Color, Sabor, Textura y Aceptabilidad General, aplicando un diseño de mezclas, con un nivel de 0.7 a 1 para harina de trigo y de 0 a 0.30 para harina de hongos comestible y harina de cañihua. En la tabla 8 de la metodología se detalló las 14 formulaciones que resultó el software Design Expert.

La figura 7 observamos que la formulación 1 y formulación 5 (control) fue la que mostró

mejores resultados, mientras que la formulación 11 (70% Harina de trigo: 30% Harina de hongo comestible) fue la que tuvo más bajo parámetros sensoriales.

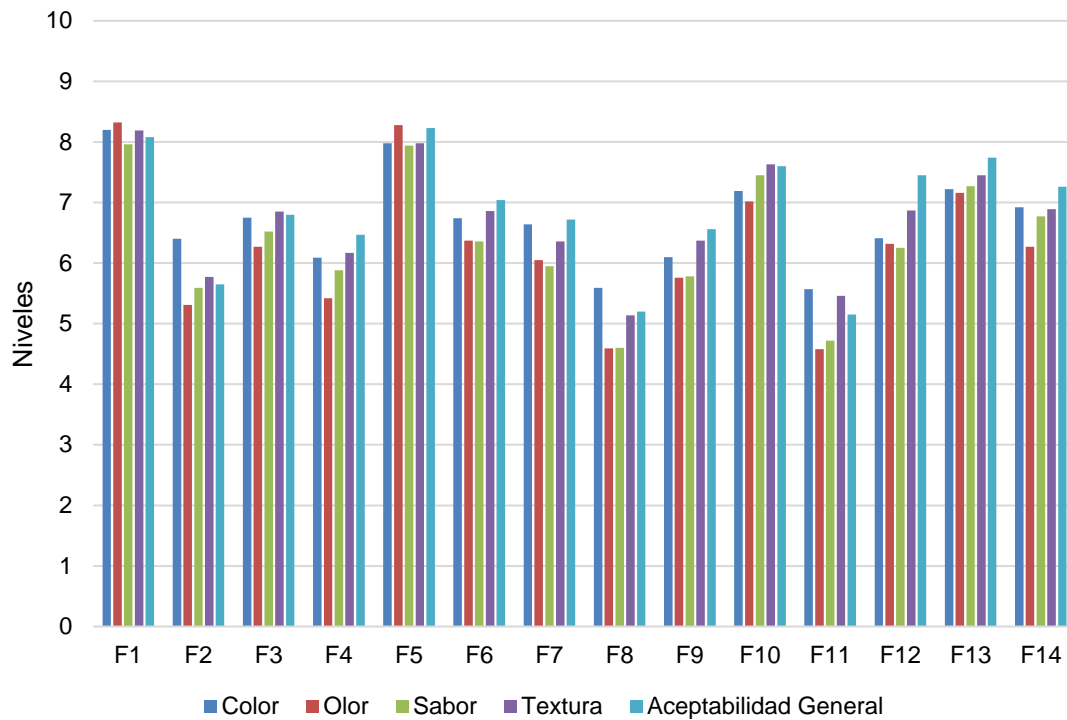


Figura 7. Resultados de evaluación sensorial de las formulaciones del cupcake

3.1.2.1. Evaluación Sensorial del Olor

Tabla 12. Reajuste del diseño de las mezclas al modelo para el atributo Olor

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
Linear	0.536	0.817	0.783	0.733	4.602	
Quadratic	0.350	0.943	0.908	0.804	3.381	
Special Cubic	0.234	0.978	0.959	0.914	1.485	Seleccionado
Cubic	0.248	0.986	0.954	-0.483	25.560	

En la tabla 12 se observa al modelo cúbico especial como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.978$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable olor se ajustan más al comportamiento de una función polinomial de grado 3.

Tabla 13. (ANOVA) para el atributo Olor

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	16.86	6.00	2.81	51.50	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	14.08	2.00	7.04	129.05	< 0.0001	
AB	1.11	1.00	1.11	20.33	0.0028	
AC	0.49	1.00	0.49	9.02	0.0198	
BC	0.45	1.00	0.45	8.25	0.0239	
ABC	0.60	1.00	0.60	10.93	0.013	
Residual	0.38	7.00	0.06			
Cor Total	17.24	13.00				

En la Tabla 13 se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la característica de olor. El valor F del modelo, que alcanza 51.50, sugiere que el modelo es estadísticamente significativo, con solo un 0.05% de probabilidad de que este valor carezca de relevancia y se deba a otros factores. Esta conclusión se respalda en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" menores a 0.0500 indican que los términos del modelo poseen significancia estadística, destacándose los componentes de la mezcla lineal (AB, AC, BC, ABC) como factores determinantes dentro del análisis.

Tabla 14. Coeficiente estadístico para el atributo Olor

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	0.23	R-cuadrado	0.9778
Mean	6.27	R ² -ajustada	0.9589
C.V. %	3.73	R ² - previsto	0.9139
PRESS	1.48	Predicción adecuada	22.974

En la Tabla 14, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R²) de 0.9778 para la característica de olor, según el análisis realizado con el software Design Expert v.7.0. Además, el R² previsto obtenido es 0.9139, lo que indica una correspondencia satisfactoria, dado que el modelo

estudiado explica aproximadamente el 3.73% de la varianza. Asimismo, se destaca que el R^2 previsto (0.9139) mantiene una concordancia razonable con el R^2 ajustado (0.9589), lo que refuerza la confiabilidad del modelo. A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, el cual se utilizó para optimizar la percepción del olor en los cupcakes. Es fundamental que los niveles de las variables sean expresados en sus unidades de medida originales para garantizar la precisión en la interpretación de los resultados. Sin embargo, es importante señalar que este modelo numérico no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan en función de las unidades de medición de cada variable, y el centro del diseño experimental no se encuentra en la intersección del espacio de diseño.

$$\begin{aligned} \text{Olor} = & 8.32397 \quad * \text{Trigo (Harina)} \\ & 23.98061 \quad * \text{Hongo (Harina)} \\ & 25.49147 \quad * \text{Cañihua (Harina)} \\ & -40.43497 \quad * \text{Trigo (Harina)* Hongo (Harina)} \\ & -35.30848 \quad * \text{Trigo (Harina)* Cañihua (Harina)} \\ & -574.97317 \quad * \text{Hongo (Harina)* Cañihua (Harina)} \\ & 870.47197 \quad * \text{Trigo (Harina) * Hongo (Harina) * Cañihua (Harina)} \end{aligned}$$

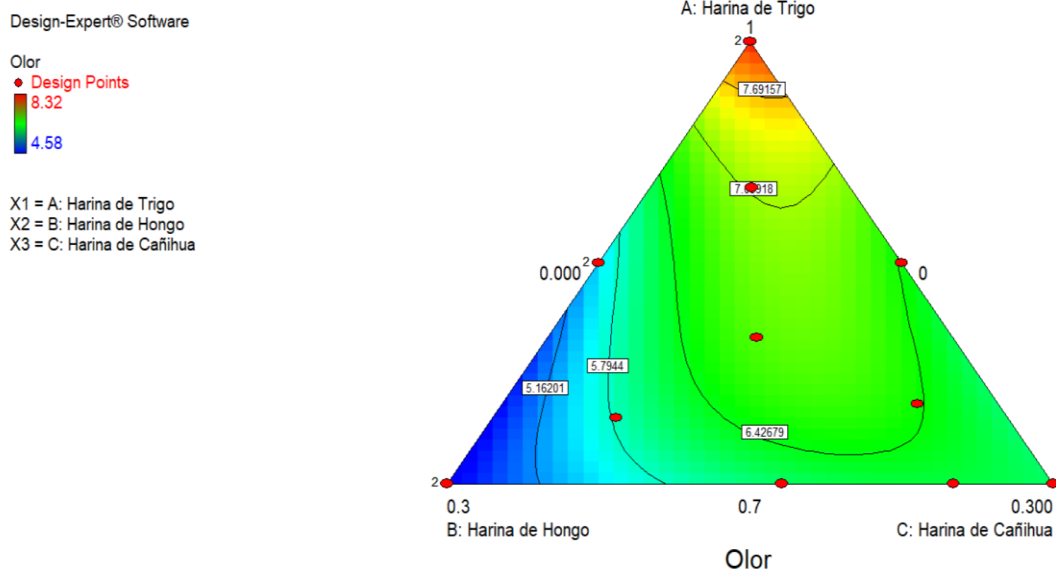


Figura 8. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el Olor

En la Figura 8, se presenta el gráfico de contorno que ilustra la relación entre la característica sensorial de olor y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona resaltada en rojo indica la mayor aceptación en términos de olor, con una puntuación de 8.28, correspondiente a la Formulación 5. Esta preparación estuvo compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). Por otro lado, la región azul representa la menor valoración en esta característica, registrando una puntuación de 4.58, asociada a la Formulación 11. En esta mezcla, la proporción de ingredientes incluyó 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin adición de harina de cañihua (0%). Finalmente, la zona verde refleja una aceptabilidad moderada en cuanto al olor, correspondiente a la Formulación 7, la cual estuvo compuesta por 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de cañihua (30%) y sin presencia de harina de hongo comestible (0%).

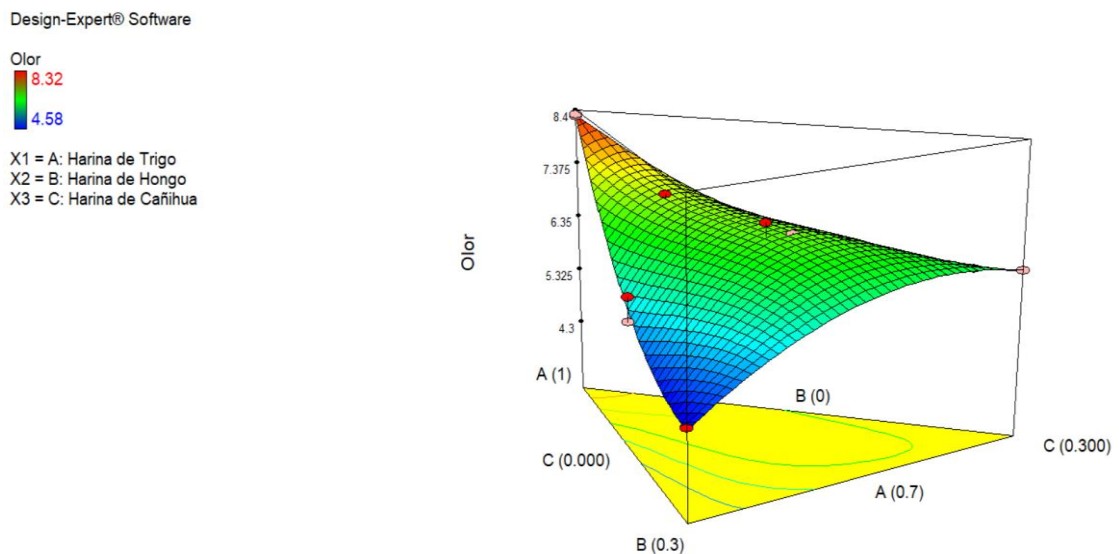


Figura 9. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Olor

En la Figura 9, se muestra el gráfico de superficie de respuesta correspondiente a la evaluación del atributo de olor en cupcakes formulados con distintas proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe una variación de tonalidades, donde el color rojo representa los valores más altos de percepción de olor, el verde indica un nivel intermedio y el azul

refleja las puntuaciones más bajas. A partir del análisis de esta representación, se determinó que la Formulación N° 5 obtuvo la mayor aceptación en el atributo de olor, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin adición de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja en esta característica correspondió a la Formulación N° 11, que incluyó 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin presencia de harina de cañihua (0%).

3.1.2.2. Evaluación Sensorial del Color

Tabla 15. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Color

Modelo	Dev. Std.	R cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
Linear	0.400	0.771	0.729	0.665	2.630	
Quadratic	0.260	0.932	0.890	0.819	1.420	Seleccionado
Special Cubic	0.240	0.949	0.904	0.757	1.910	
Cubic	0.270	0.963	0.878	-4.038	39.650	

En la tabla 15 se observa al modelo cuadrático como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.932$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable color se ajustan más al comportamiento de una función polinomial de grado 2.

Tabla 16. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Color

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	7.34	5.00	1.47	22.01	0.0002	significativo
Linear	6.07	2.00	3.03	45.49	< 0.0001	
Mixture						
AB	0.36	1.00	0.36	5.34	0.0496	
AC	0.20	1.00	0.20	3.07	0.1179	
BC	0.66	1.00	0.66	9.96	0.0135	
Residual	0.53	8.00	0.07			
Cor Total	7.87	13.00				

En la Tabla 16, se presenta el análisis de variabilidad para la característica de color. El valor F del modelo, que alcanza 22.01, sugiere que el modelo es estadísticamente significativo, con solo un 0.05% de probabilidad de que este valor carezca de relevancia y sea producto del efecto de otras variables. Este resultado se respalda en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" menores a 0.0500 evidencian que los términos evaluados poseen significancia estadística. En este caso, los componentes de la mezcla lineal, específicamente AB y BC, se identificaron como factores clave dentro del modelo.

Tabla 17. Coeficientes estadísticos para el atributo Color

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	0.26	R-cuadrado	0.9322
Mean	6.7	R ² -ajustada	0.8899
C.V. %	3.85	R ² - previsto	0.8193
PRESS	1.42	Predicción adecuada	15.174

En la Tabla 17, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R²) de 0.9322 para la característica de color, según el análisis realizado con el software Design Expert v.7.0. Además, el R² previsto obtenido es 0.8193, lo que indica una correspondencia satisfactoria, dado que el modelo explica aproximadamente el 3.85% de la variabilidad en los datos. Asimismo, se destaca que el R² previsto (0.8193) mantiene una concordancia razonable con el R² ajustado (0.8899), lo que refuerza la confiabilidad del modelo.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, el cual se utilizó para optimizar la percepción del color en los cupcakes. Es fundamental que los niveles de las variables sean expresados en sus unidades de medida originales para garantizar la precisión en la interpretación de los resultados. Sin embargo, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan en función de las unidades de medición de cada variable, y el centro del diseño experimental no se encuentra en la intersección del espacio de diseño.

Color =

8.10454 * Harina de Trigo
 14.92516 * Harina de Hongo

16.5478
 -21.95892
 -19.72102
 37.54438

* Harina de Cañihua
 * Harina de Trigo * Harina de Hongo
 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua

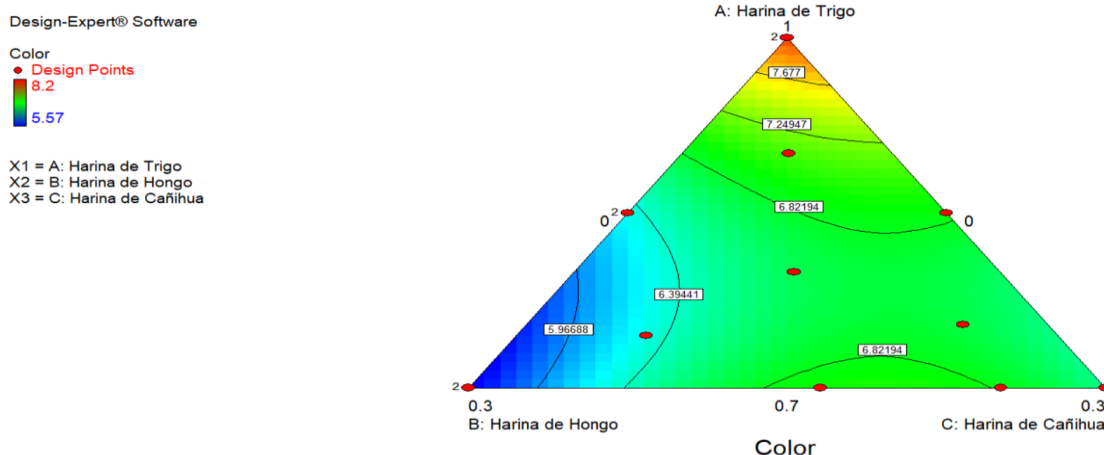


Figura 10. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Color.

En la Figura 10, se presenta el gráfico de contorno que ilustra la relación entre la característica de color y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. La zona resaltada en rojo representa la mayor aceptabilidad en términos de color, con una puntuación de 8.20, correspondiente a la Formulación 1, compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la región azul indica la menor aceptación del color, con una puntuación de 4.58, correspondiente a la Formulación 11, elaborada con 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin adición de harina de cañihua (0%). Finalmente, la zona verde refleja una aceptabilidad intermedia, asociada a la Formulación 7, que contiene 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de cañihua (30%) y sin presencia de harina de hongo comestible (0%).

Design-Expert® Software

Color
8.2
5.57

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

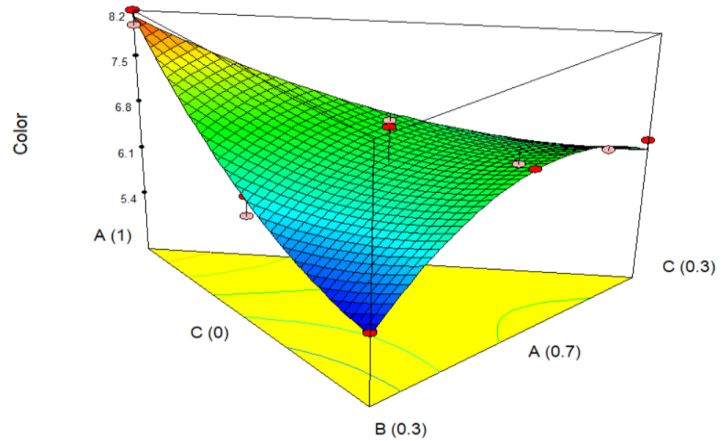


Figura 11. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo color

En la Figura 11, se presenta el gráfico de superficie de respuesta que representa la variación del atributo de color en cupcakes formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe un gradiente de tonalidades, donde el color rojo indica los valores más altos de percepción del color, el verde refleja un nivel intermedio y el azul representa las puntuaciones más bajas. A partir del análisis de esta representación, se determinó que la Formulación N° 1 obtuvo la máxima aceptación en cuanto a color, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja en esta característica correspondió a la Formulación N° 11, que incluyó 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin presencia de harina de cañihua (0%).

3.1.2.3. Evaluación Sensorial del Sabor

Tabla 18. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo sabor

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
Linear	0.620	0.706	0.653	0.572	6.160	
Quadratic	0.380	0.921	0.872	0.752	3.570	
<u>Special Cubic</u>	<u>0.260</u>	<u>0.967</u>	<u>0.940</u>	<u>0.879</u>	<u>1.750</u>	Seleccionado
Cubic	0.250	0.983	0.943	-1.741	39.450	

En la tabla 18 se observa al modelo cúbico especial como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.967$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable sabor se ajustan más al comportamiento de una función polinomial de grado 3.

Tabla 19. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo sabor

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	13.92	6.00	2.32	34.64	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	10.17	2.00	5.08	75.88	< 0.0001	
AB	0.50	1.00	0.50	7.48	0.0291	
AC	0.31	1.00	0.31	4.59	0.0693	
BC	1.31	1.00	1.31	19.57	0.0031	
ABC	0.67	1.00	0.67	9.99	0.0159	
Residual	0.47	7	0.067			
Cor Total	14.39	13.00				

En la Tabla 19, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la característica de sabor. El valor F del modelo, que alcanza 34.64, indica que el modelo es estadísticamente relevante, con solo un 0.05% de probabilidad de que este valor no tenga significancia y sea producto del efecto de otras variables. Esta conclusión se respalda en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del

modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" inferiores a 0.0500 evidencian que los términos del modelo poseen significancia estadística, destacándose los componentes de la mezcla lineal AB, BC y ABC como factores clave en la evaluación del sabor. Sin embargo, la combinación AC no mostró una influencia significativa dentro del modelo.

Tabla 20. Coeficientes estadísticos para el atributo Sabor

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	0.26	R-cuadrado	0.9674
Mean	6.36	R ² -ajustada	0.9395
C.V. %	4.07	R ² - previsto	0.8785
PRESS	1.75	Predicción adecuada	18.463

En la Tabla 20, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R²) de 0.9674 para la característica de sabor, según el análisis realizado con el software Design Expert v.7.0. Además, el R² previsto obtenido es 0.8785, lo que indica una correspondencia satisfactoria, considerando que el modelo explica aproximadamente el 4.07% de la variabilidad en los datos. Asimismo, se destaca que el R² previsto (0.8785) mantiene una relación razonable con el R² ajustado (0.9395), lo que refuerza la confiabilidad del modelo.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, utilizado para optimizar la percepción del sabor en los cupcakes. Es fundamental que los niveles de las variables sean expresados en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan en función de las unidades de cada variable y el centro del diseño experimental no se encuentra en la intersección del espacio de diseño.

Sabor =

- 7.98934 * Harina de Trigo
- 15.74994 * Harina de Hongo
- 20.6038 * Harina de Cañihua
- 27.17758 * Harina de Trigo * Harina de Hongo
- 27.91841 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
- 586.94029 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua

Design-Expert® Software

Sabor

● Design Points

7.96

4.6

X1 = A: Harina de Trigo

X2 = B: Harina de Hongo

X3 = C: Harina de Cañihua

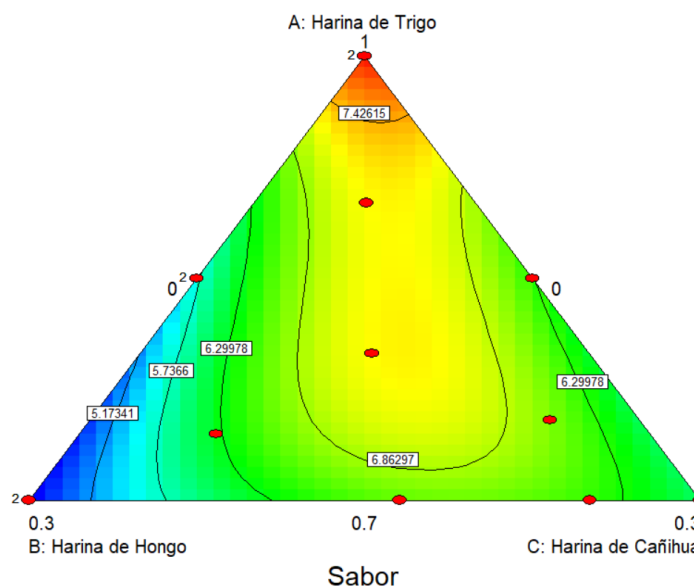


Figura 12. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo sabor.

En la Figura 12, se presenta el gráfico de contorno que ilustra la relación entre la característica sensorial de sabor y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona resaltada en rojo representa la mayor aceptación en términos de sabor, con una puntuación de 7.94, correspondiente a la Formulación 5, compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la región azul señala la menor valoración del sabor, con una puntuación de 4.60, correspondiente a la Formulación 8, que incluyó 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin adición de harina de cañihua (0%). Finalmente, la zona verde refleja una aceptabilidad moderada en cuanto al sabor, correspondiente a la Formulación 7, la cual estuvo compuesta por 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de cañihua (30%) y sin presencia de harina de hongo comestible (0%).

Design-Expert® Software

Sabor
7.96
4.6

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

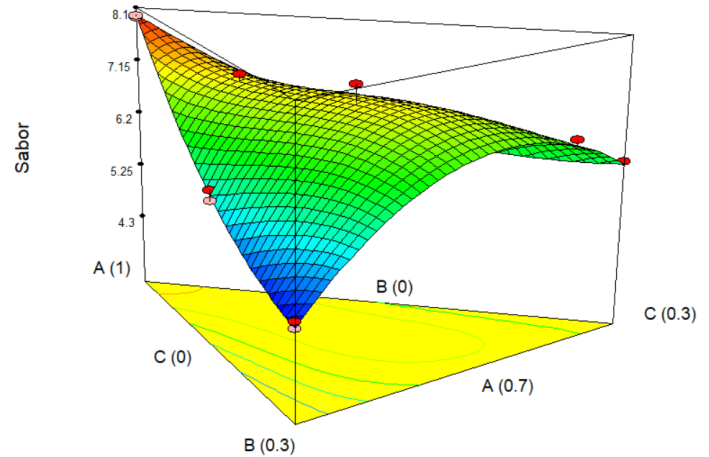


Figura 13. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo sabor

En la Figura 13, se presenta el gráfico de superficie de respuesta, el cual representa la variabilidad en la percepción del sabor en cupcakes formulados con distintas proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe un rango de tonalidades, donde el color rojo señala los valores más altos de aceptación del sabor, el verde indica una valoración intermedia y el azul refleja las puntuaciones más bajas. A partir de esta representación, se determinó que la Formulación N° 5 obtuvo la mejor puntuación en sabor, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin inclusión de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja se registró en la Formulación N° 08, que contenía 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin presencia de harina de cañihua (0%).

3.1.2.4. Evaluación Sensorial del Textura

Tabla 21. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Textura.

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
Linear	0.510	0.733	0.684	0.601	4.280	
Quadratic	0.360	0.904	0.844	0.681	3.420	
<u>Special Cubic</u>	<u>0.270</u>	<u>0.952</u>	<u>0.912</u>	<u>0.827</u>	<u>1.860</u>	Seleccionado
Cubic	0.310	0.965	0.885	-1.145	23.030	

En la tabla 21 se observa al modelo especial cúbico como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.952$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable textura se ajustan más al comportamiento de una función polinomial de grado 3.

Tabla 22. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Textura

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	10.23	6.00	1.70	23.36	0.0003	significativo
Linear Mixture	7.87	2.00	3.93	53.88	< 0.0001	
AB	0.52	1.00	0.52	7.15	0.0318	
AC	0.11	1.00	0.11	1.57	0.2504	
BC	0.66	1.00	0.66	9.07	0.0196	
ABC	0.52	1.00	0.52	7.11	0.0322	
Residual	0.51	7	0.073			
Cor Total	10.74	13.00				

En la Tabla 22, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la característica de textura. El valor F del modelo, que alcanza 23.36, indica que el modelo es estadísticamente significativo, con una probabilidad de apenas 0.05% de que este resultado sea atribuible al efecto de otras variables no consideradas. Esta conclusión se

fundamenta en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" menores a 0.0500 sugieren que los términos evaluados poseen relevancia estadística, destacándose los componentes de la mezcla lineal AB, BC y ABC como factores clave en la determinación de la textura. En contraste, la combinación AC no mostró un efecto significativo dentro del modelo.

Tabla 23. Coeficientes estadísticos para el atributo Textura

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Std. Dev.	0.27	R-cuadrado	0.9524
Mean	6.71	R ² -ajustada	0.9116
C.V. %	4.02	R ² - previsto	0.8269
PRESS	1.86	Predicción adecuada	14.955

En la Tabla 23, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R²) de 0.9524 para la característica de textura, según el análisis realizado con el software Design Expert v.7.0. Además, el R² previsto, con un valor de 0.8269, indica una correspondencia satisfactoria, dado que el modelo explica aproximadamente el 4.02% de la variabilidad observada en los datos. Asimismo, se destaca la coherencia entre el R² previsto (0.8269) y el R² ajustado (0.9116), lo que refuerza la fiabilidad del modelo y su capacidad predictiva en la evaluación de la textura del producto.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, utilizado para optimizar la textura de los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan según las unidades de cada variable, y la intersección del diseño experimental no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

$$\begin{aligned}
 \text{Textura} &= \\
 8.10356 & * \text{Harina de Trigo} \\
 17.99638 & * \text{Harina de Hongo} \\
 14.37839 & * \text{Harina de Cañihua} \\
 -27.73669 & * \text{Harina de Trigo} * \text{Harina de Hongo}
 \end{aligned}$$

- 17.03825 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
- 526.72395 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua
- 811.98673 * Harina de Trigo * Harina de Hongo * Harina de Cañihua

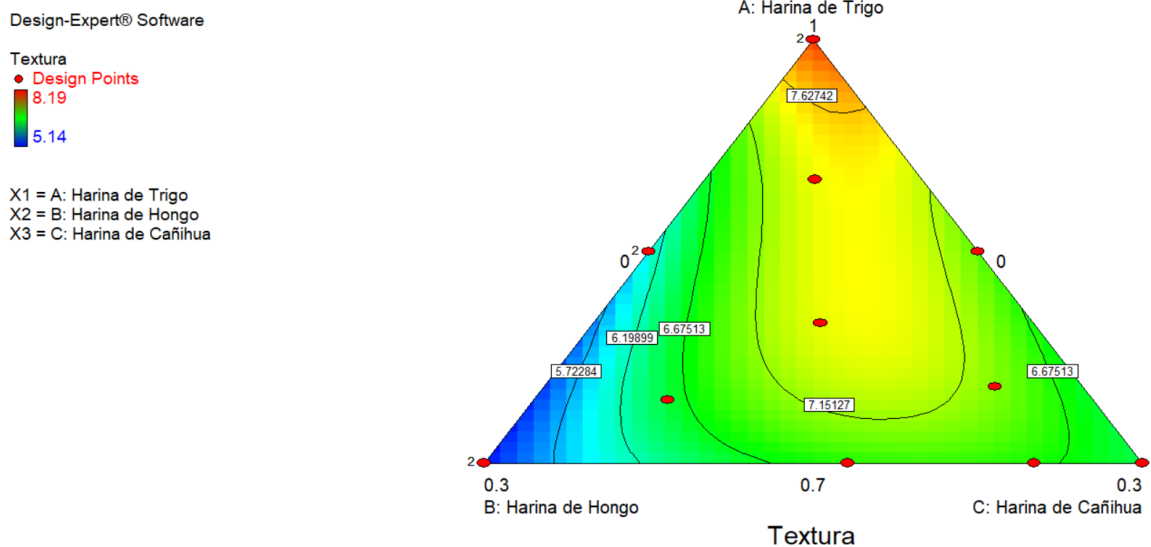


Figura 14. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Textura.

En la Figura 14, se presenta el gráfico de contorno que representa la relación entre la característica de textura y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona resaltada en rojo indica la mayor aceptación en términos de textura, con una puntuación de 8.19, correspondiente a la Formulación 1, compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin adición de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la región azul representa la menor valoración de textura, con una puntuación de 5.14, asociada a la Formulación 8, elaborada con 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin presencia de harina de cañihua (0%). Por otro lado, la zona verde refleja una aceptabilidad intermedia en lo que respecta a textura, correspondiente a la Formulación 7, que incluye 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de cañihua (30%) y sin incorporación de harina de hongo comestible (0%).

Textura
 8.19
 5.14

X1 = A: Harina de Trigo
 X2 = B: Harina de Hongo
 X3 = C: Harina de Cañihua

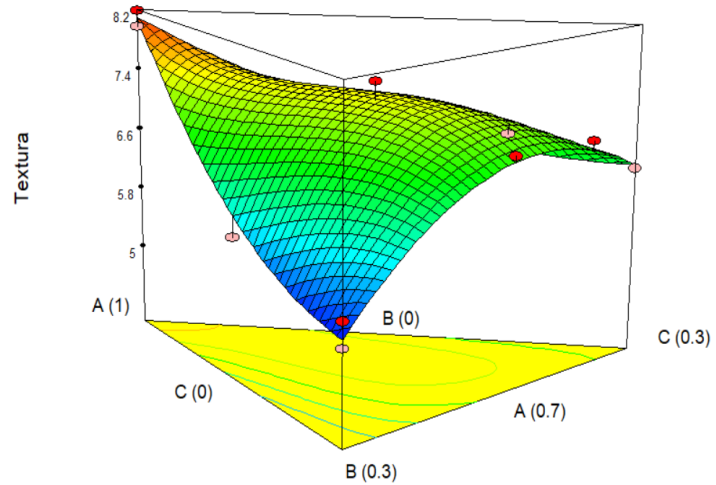


Figura 15. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo textura

En la Figura 15, se presenta el gráfico de superficie de respuesta, el cual representa la variabilidad en la percepción de la textura en cupcakes formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe un rango de tonalidades, donde el color rojo señala los valores más altos de aceptabilidad en textura, el verde indica una valoración intermedia y el azul refleja las puntuaciones más bajas. A partir de esta representación, se determinó que la Formulación N° 1 obtuvo la máxima puntuación en textura, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin inclusión de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja correspondió a la Formulación N° 8, compuesta por 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin presencia de harina de cañihua (0%).

3.1.2.5. Evaluación Sensorial del Aceptabilidad General

Tabla 24. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Aceptabilidad General

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
Linear	0.550	0.733	0.684	0.606	4.980	
Quadratic	0.380	0.909	0.853	0.625	4.740	
<u>Special Cubic</u>	<u>0.300</u>	<u>0.952</u>	<u>0.910</u>	<u>0.739</u>	<u>3.300</u>	Seleccionado
Cubic	0.330	0.966	0.890	0.831	2.130	

En la tabla 24 se observa al modelo cúbico especial como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.932$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable aceptabilidad general se ajustan más al comportamiento de una función polinomial de grado 3.

Tabla 25. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Aceptabilidad General

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	12.03	6.00	2.00	22.95	0.0003	significativo
Linear Mixture	9.26	2.00	4.63	53.01	< 0.0001	
AB	0.43	1.00	0.43	4.89	0.0628	
AC	0.06	1.00	0.06	0.68	0.4373	
BC	0.93	1.00	0.93	10.70	0.0137	
ABC	0.53	1.00	0.53	6.11	0.0428	
Residual	0.61	7	0.087			
Cor Total	12.64	13.00				

En la Tabla 25, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la aceptabilidad general de los cupcakes. El valor F del modelo, que alcanza 22.95, indica que el modelo es estadísticamente relevante, con solo un 0.05% de probabilidad de que este resultado carezca de significancia y sea producto de otras variables no consideradas. Esta

conclusión se fundamenta en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que valida la solidez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" inferiores a 0.0500 confirman que los términos del modelo poseen relevancia estadística, identificándose los componentes de la mezcla lineal AB, BC y BC como factores determinantes en la evaluación de la aceptabilidad general. No obstante, la combinación AC no mostró un efecto significativo dentro del modelo.

Tabla 26. Coeficientes estadísticos para el atributo Aceptabilidad general

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	0.3	R-cuadrado	0.9516
Mean	6.85	R ² -ajustada	0.9102
C.V. %	4.31	R ² - previsto	0.7386
PRESS	3.3	Predicción adecuada	14.492

En la Tabla 26, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R²) de 0.9516 para la característica de aceptabilidad general, según el análisis realizado con el software Design Expert v.7.0. Además, el R² previsto, con un valor de 0.7386, indica un ajuste satisfactorio, considerando que el modelo explica aproximadamente el 3.85% de la variabilidad observada en los datos. Asimismo, se destaca la coherencia entre el R² previsto (0.7386) y el R² ajustado (0.9102), lo que respalda la fiabilidad del modelo y su capacidad predictiva en la evaluación de la aceptabilidad general del producto.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, utilizado para optimizar la aceptabilidad general de los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan según las unidades de cada variable, y la intersección del diseño experimental no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

$$\text{Aceptabilidad General} = 8.17702 * \text{Harina de Trigo} + 15.63563 * \text{Harina de Hongo}$$

- 11.6736 * Harina de Cañihua
- 25.07448 * Harina de Trigo * Harina de Hongo
- 12.2488 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
- 526.72657 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua
- 823.19347 * Harina de Trigo * Harina de Hongo * Harina de Cañihua

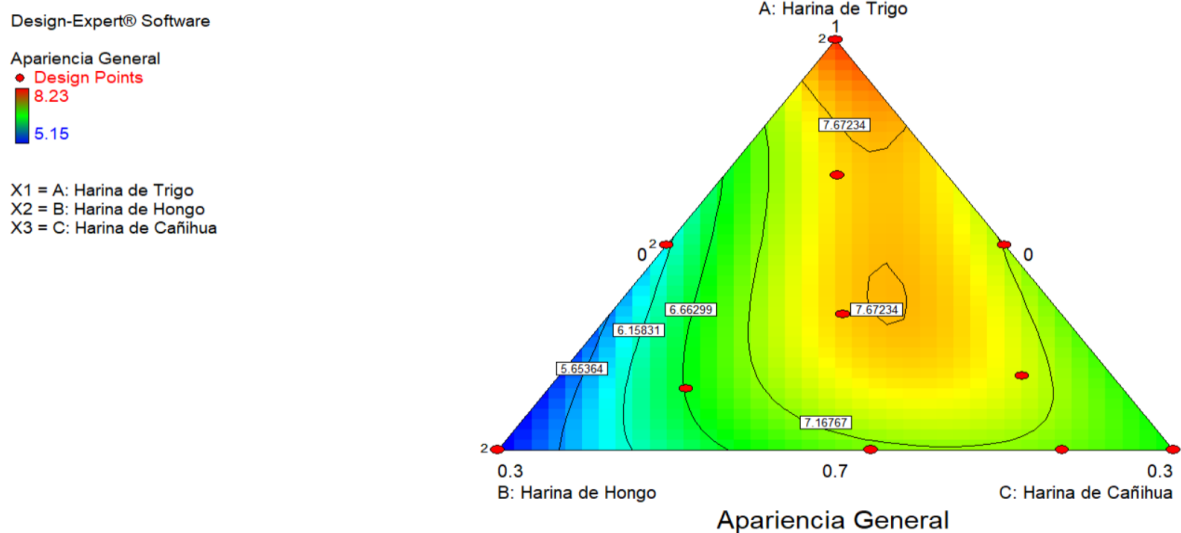


Figura 16. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo aceptabilidad general.

En la Figura 16, se presenta el gráfico de contorno que muestra la relación entre la aceptabilidad general y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se evidencia que la zona resaltada en rojo representa la mayor aceptación global, alcanzando una puntuación de 8.23, correspondiente a la Formulación 5, compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la región azul indica la menor valoración en aceptabilidad general, con una puntuación de 5.15, asociada a la Formulación 11, que contenía 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin adición de harina de cañihua (0%). Por otro lado, la zona verde refleja una aceptabilidad moderada, correspondiente a la Formulación 7, que incluía 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de cañihua (30%) y sin presencia de harina de hongo comestible (0%).

Design-Expert® Software

Apariencia General

8.23

5.15

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

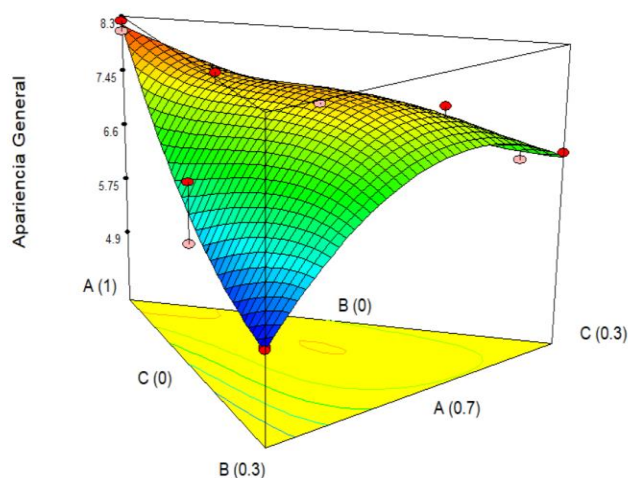


Figura 17. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo aceptabilidad general

En la Figura 17, se presenta el gráfico de superficie de respuesta que representa la aceptabilidad general en cupcakes elaborados con distintas combinaciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe una variación en tonalidades, donde el color rojo indica los niveles más altos de aceptación, el verde señala una evaluación intermedia y el azul representa las puntuaciones más bajas. A partir del análisis de esta representación, se determinó que la Formulación N° 5 obtuvo la mayor puntuación en aceptabilidad general, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la valoración más baja correspondió a la Formulación N° 11, compuesta por 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y sin presencia de harina de cañihua (0%).

3.1.3. Evaluación fisicoquímica de las formulaciones de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua

3.1.3.1. Humedad

Tabla 27. Ajuste del diseño de mezclas de cupcakes al modelo para el atributo Humedad

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
Linear	0.650	0.915	0.900	0.851	8.220	
Quadratic	0.240	0.992	0.987	0.972	1.530	Seleccionado
Special Cubic	0.240	0.993	0.986	0.965	1.920	
Cubic	0.260	0.995	0.984	0.699	16.550	

En la tabla 27 se observa al modelo cuadrático como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.992$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable Humedad se ajustan más al comportamiento de una función polinomial de grado 2.

Tabla 28. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Humedad

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	54.61	5.00	10.92	192.60	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	50.38	2.00	25.19	444.23	< 0.0001	
AB	2.30	1.00	2.30	40.48	0.0002	
AC	0.01	1.00	0.01	0.20	0.6646	
BC	1.85	1.00	1.85	32.61	0.0004	
Residual	0.45	8.00	0.06			
Cor Total	55.06	13.00				

En la Tabla 28, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la característica de humedad. El valor F del modelo, que alcanza 192.60, sugiere que el modelo es estadísticamente significativo, con una probabilidad de solo 0.05% de que este resultado carezca de relevancia y sea producto de otros factores. Esta conclusión se

fundamenta en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que respalda la validez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" inferiores a 0.0500 confirman que los términos evaluados tienen importancia estadística. En este caso, los componentes de la mezcla lineal AB y BC fueron identificados como variables clave en la determinación del contenido de humedad. En contraste, la combinación AC no presentó un impacto significativo en el modelo.

Tabla 29. Coeficientes estadísticos para el atributo Humedad

Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Std. Dev.	0.24	R-cuadrado	0.9918
Mean	27.44	R ² -ajustada	0.9866
C.V. %	0.87	R ² - previsto	0.9723
PRESS	1.53	Predicción adecuada	40.628

En la Tabla 29, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R²) de 0.9516 para la característica de humedad, según el análisis realizado con el software Design Expert v.7.0. Además, el R² previsto, con un valor de 0.9723, indica un ajuste satisfactorio, considerando que el modelo explica aproximadamente el 0.87% de la variabilidad observada en los datos. Asimismo, se destaca la coherencia entre el R² previsto (0.9723) y el R² ajustado (0.986), lo que respalda la confiabilidad del modelo y su capacidad predictiva en la evaluación del contenido de humedad en los cupcakes.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, utilizado para optimizar la humedad de los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan según las unidades de cada variable, y la intersección del diseño experimental no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

$$\begin{aligned}
 \text{Humedad} &= \\
 24.34487 & * \text{Harina de Trigo} \\
 84.48146 & * \text{Harina de Hongo} \\
 44.0043 & * \text{Harina de Cañihua}
 \end{aligned}$$

- 55.74986 * Harina de Trigo * Harina de Hongo
- 4.67264 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
- 62.65676 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua

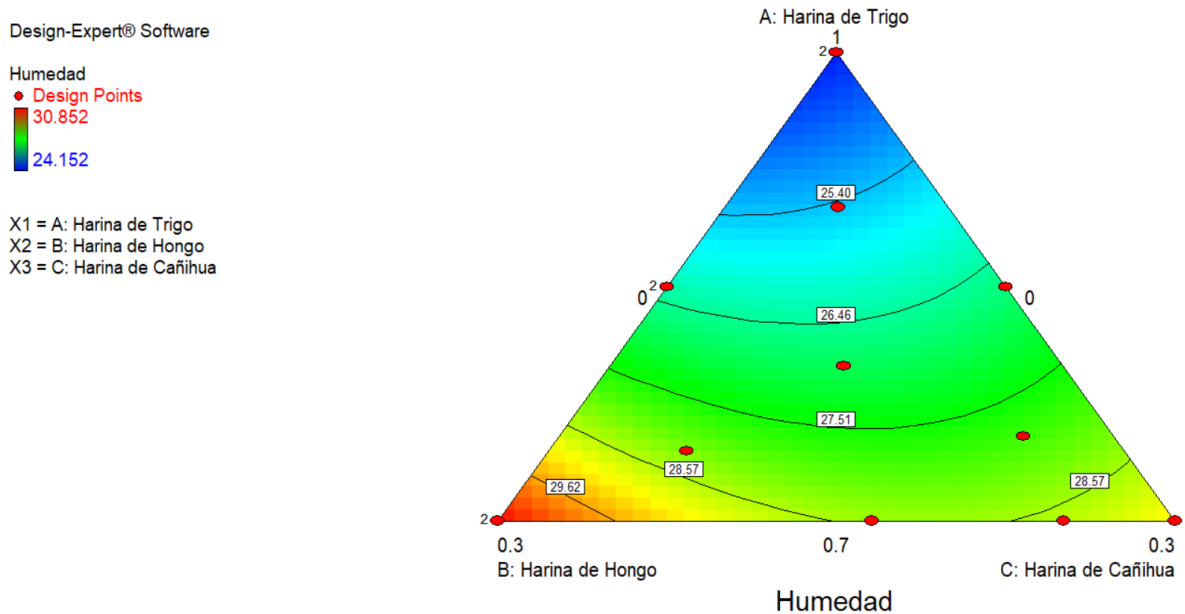


Figura 18. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Humedad.

En la Figura 18, se presenta el gráfico de contorno, el cual muestra la relación entre la humedad y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona resaltada en rojo corresponde a la mayor retención de humedad, alcanzando una puntuación de 30.55, asociada a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%), sin presencia de harina de cañihua (0%), y 180 g de harina de hongo comestible (30%). En contraste, la región azul representa la menor cantidad de humedad, con un valor de 24.15, correspondiente a la Formulación 5, compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). Por otro lado, la zona verde refleja un nivel intermedio de humedad, correspondiente a la Formulación 10, la cual se elaboró con 479.6 g de harina de trigo (79.9%), 58.2 g de harina de hongo comestible (9.7%) y 62.1 g de harina de cañihua (10.4%).

Humedad
30.852
24.152

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

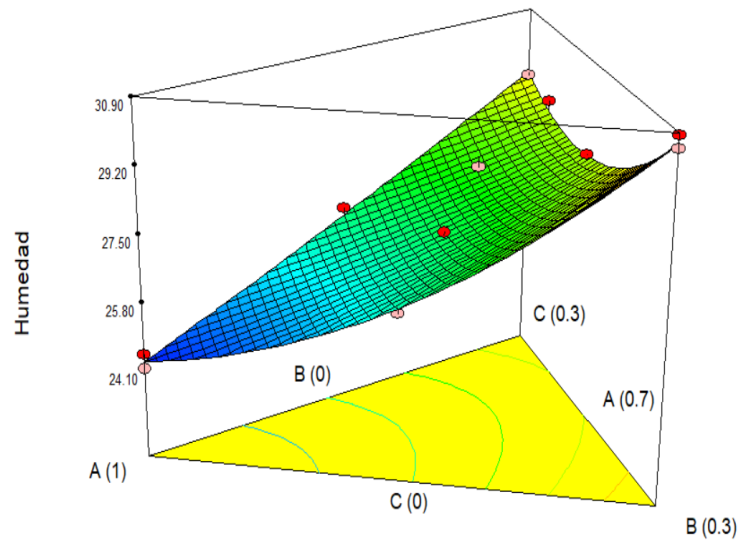


Figura 19. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo Humedad

En la Figura 19, se presenta el gráfico de superficie de respuesta, el cual ilustra la variación en los niveles de humedad en cupcakes formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe una gama de tonalidades, donde el color rojo representa los valores más altos de retención de humedad, el verde indica una clasificación intermedia y el azul señala los niveles más bajos.

A partir de esta representación, se determinó que la Formulación N° 11 obtuvo la mayor puntuación en humedad, con una composición de 420 g de harina de trigo (70%), sin adición de harina de cañihua (0%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%). En contraste, la puntuación más baja correspondió a la Formulación N° 5, que contenía 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%).

3.1.3.2. Acidez

Tabla 30. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo Acidez

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
<u>Linear</u>	<u>0.014</u>	<u>0.983</u>	<u>0.980</u>	<u>0.972</u>	<u>0.003</u>	Seleccionado
Quadratic	0.013	0.988	0.981	0.956	0.005	
Special Cubic	0.013	0.990	0.982	0.916	0.010	
Cubic	0.007	0.998	0.994	0.993	0.001	

En la tabla 30 se observa al modelo lineal como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.983$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable aceptabilidad general se ajustan más al comportamiento de una función lineal.

Tabla 31. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Acidez

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	0.12	2.00	0.06	311.14	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	0.12	2.00	0.06	311.14	< 0.0001	
Residual	0.00	11.00	0.00			
Cor Total	0.12	13.00				

En la Tabla 31, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la característica de acidez. El valor F del modelo, que alcanza 311.14, indica que el modelo es estadísticamente significativo, con una probabilidad del 0.05% de que este resultado sea atribuible a otros factores no contemplados en el análisis. Esta conclusión se respalda en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del modelo.

Asimismo, los valores de "Prob > F" inferiores a 0.0500 evidencian que los términos evaluados poseen relevancia estadística, destacándose los componentes de la mezcla lineal como factores determinantes en la variación de la acidez.

Tabla 32. Coeficientes estadísticos para el atributo Acidez

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	0.014	R-cuadrado	0.9826
Mean	0.5	R ² -ajustada	0.9795
C.V. %	2.73	R ² - previsto	0.9724
PRESS	3.26E-03	Predicción adecuada	44.568

En la Tabla 32, se muestra un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R^2) de 0.9826 para la característica de acidez, según los datos obtenidos a través del software Design Expert v.7.0. Además, el R^2 previsto de 0.9724 refleja un ajuste satisfactorio, considerando que el modelo explica aproximadamente el 2.73% de la variabilidad observada en los datos. Asimismo, la consistencia entre el R^2 previsto (0.9724) y el R^2 ajustado (0.979) respalda la confiabilidad del modelo y su capacidad predictiva en la evaluación de la acidez en los cupcakes.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, utilizado para optimizar la acidez de los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan según las unidades de cada variable, y la intersección del diseño experimental no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

Acidez =

- 0.32885 * Harina de Trigo
- 1.26742 * Harina de Hongo
- 1.11456 * Harina de Cañihua

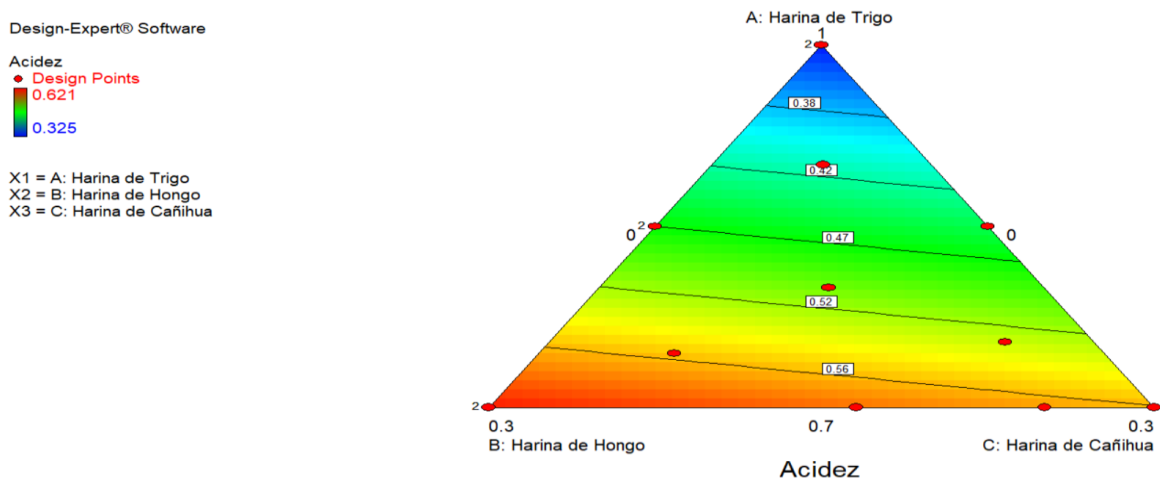


Figura 20. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo acidez

En la Figura 20, se presenta el gráfico de contorno que representa la relación entre la acidez y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona resaltada en rojo corresponde a la mayor acidez, con un valor de 0.619, asociado a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%), sin presencia de harina de cañihua (0%), y 180 g de harina de hongo comestible (30%). En contraste, la región azul representa la menor acidez, con una puntuación de 0.325, correspondiente a la Formulación 1, la cual contiene 600 g de harina de trigo (100%), sin adición de harina de hongo comestible (0%) ni harina de cañihua (0%). Por otro lado, la zona verde indica un nivel intermedio de acidez, correspondiente a la Formulación 10, elaborada con 479.6 g de harina de trigo (79.9%), 58.2 g de harina de hongo comestible (9.7%) y 62.1 g de harina de cañihua (10.4%).

Acidez
 0.621
 0.325

X1 = A: Harina de Trigo
 X2 = B: Harina de Hongo
 X3 = C: Harina de Cañihua

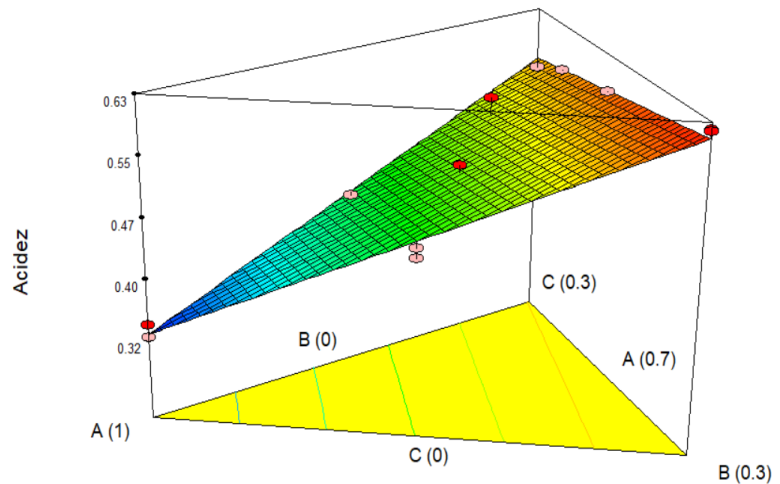


Figura 21. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo acidez

En la Figura 21, se presenta el gráfico de superficie de respuesta, que ilustra la variación en los niveles de acidez en cupcakes formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe una gama de tonalidades, donde el color rojo representa los valores más altos de acidez, el verde indica una clasificación intermedia y el azul señala los niveles más bajos. A partir de esta representación, se determinó que la Formulación N° 11 obtuvo la mayor puntuación en acidez, con una composición de 420 g de harina de trigo (70%), sin adición de harina de cañihua (0%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%). En contraste, la puntuación más baja correspondió a la Formulación N° 1, que contenía 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%).

3.1.3.3. Textura

Tabla 33. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo textura

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
<u>Linear</u>	<u>2.700</u>	<u>0.943</u>	<u>0.932</u>	<u>0.908</u>	<u>128.780</u>	<u>Seleccionado</u>
Quadratic	2.120	0.974	0.958	0.916	118.420	
Special Cubic	1.940	0.981	0.965	0.891	152.420	
Cubic	1.470	0.994	0.980	0.450	771.760	

En la tabla 33 se observa al modelo lineal como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.943$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable aceptabilidad general se ajustan más al comportamiento de una función lineal.

Tabla 34. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo Textura

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	1322.90	2.00	661.45	90.48	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	1322.90	2.00	661.45	90.48	< 0.0001	
Residual	80.42	11.00	7.31			
Cor Total	1403.31	13.00				

En la Tabla 34, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a la característica de textura. El valor F del modelo, que alcanza 90.48, sugiere que el modelo es estadísticamente significativo, con solo un 0.05% de probabilidad de que este resultado carezca de relevancia y se deba a otros factores no contemplados en el estudio. Esta conclusión se fundamenta en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" inferiores a 0.0500 indican que los términos analizados poseen importancia estadística, destacándose los componentes de la mezcla lineal como elementos determinantes en la variabilidad de la textura.

Tabla 35. Coeficientes estadísticos para el atributo Textura

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	2.7	R-cuadrado	0.9427
Mean	46.76	R ² -ajustada	0.9323
C.V. %	5.78	R ² - previsto	0.9082
PRESS	128.78	Predicción adecuada	24.25

En la Tabla 35, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por un coeficiente de correlación (R^2) de 0.9427 para la característica de textura, según los datos obtenidos a través del software Design Expert v.7.0. Además, el R^2 previsto de 0.9082 refleja un ajuste satisfactorio, considerando que el modelo explica aproximadamente el 5.78% de la variabilidad observada en los datos. Asimismo, la coherencia entre el R^2 previsto (0.9082) y el R^2 ajustado (0.9323) respalda la confiabilidad del modelo y su capacidad predictiva en la evaluación de la textura de los cupcakes. A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico, utilizado para optimizar la textura de los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan según las unidades de cada variable, y la intersección del diseño experimental no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

Textura (mJ) =

- 28.60626 * Harina de Trigo
- 129.77948 * Harina de Hongo
- 111.00311 * Harina de Cañihua

Design-Expert® Software

Textura (mJ)
● Design Points
62.495
30.495

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

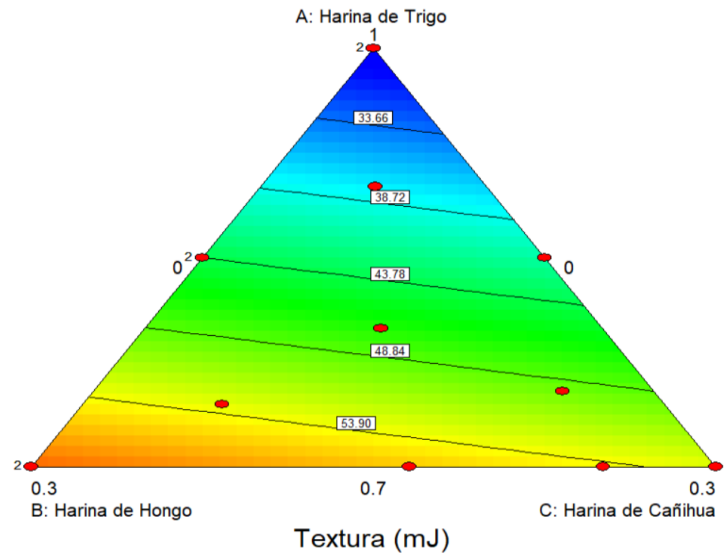


Figura 22. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo textura

En la Figura 22, se presenta el gráfico de contorno, el cual ilustra la relación entre la textura y la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona resaltada en rojo representa la mayor firmeza en la textura, con un puntaje de 62.49, correspondiente a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%), y 180 g de harina de hongo comestible (0%). Por el contrario, la región azul denota la menor textura, con un valor de 30.5, vinculado a la Formulación 5, la cual está compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin adición de harina de hongo comestible (0%) ni harina de cañihua (0%). Asimismo, la zona verde refleja un nivel intermedio de textura, correspondiente a la Formulación 10, que contiene 479.6 g de harina de trigo (79.9%), 58.2 g de harina de hongo comestible (9.7%) y 62.1 g de harina de cañihua (10.4%).

Design-Expert® Software

Textura (mJ)
62.495
30.495

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

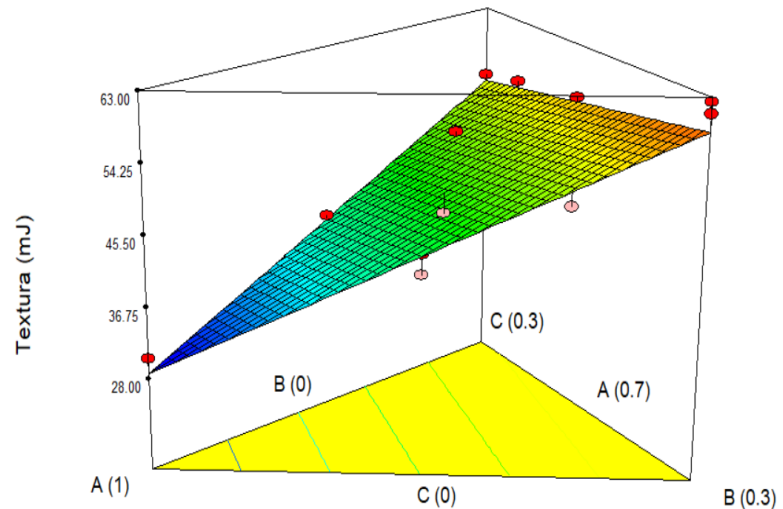


Figura 23. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo textura

En la Figura 23, se muestra el gráfico de superficie de respuesta, el cual representa la variabilidad en la textura de los cupcakes formulados con distintas proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe una gama de tonalidades, donde el color rojo señala los valores más altos de textura, el verde indica niveles intermedios y el azul representa las puntuaciones más bajas. A partir de esta representación, se determinó que la Formulación N° 11 obtuvo la mayor puntuación en textura, con una composición de 420 g de harina de trigo (100%), sin adición de harina de cañihua (0%) y 180 g de harina de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja correspondió a la Formulación N° 5, la cual estaba compuesta únicamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%).

3.1.3.4. Volumen Específico

Tabla 36. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo volumen específico

Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error	
<u>Linear</u>	<u>0.033</u>	<u>0.947</u>	<u>0.937</u>	<u>0.927</u>	<u>0.017</u>	Seleccionado
Quadratic	0.039	0.948	0.916	0.886	0.026	
Special Cubic	0.041	0.948	0.904	0.792	0.048	
Cubic	0.045	0.964	0.884	-3.912	1.140	

En la tabla 36 se observa al modelo lineal como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.947$) cercano a 1, es decir, los datos de la variable volumen específico se ajustan más al comportamiento de una función lineal.

Tabla 37. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo volumen específico

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F	
Model	0.22	2.00	0.11	98.16	< 0.0001	significativo
Linear Mixture	0.22	2.00	0.11	98.16	< 0.0001	
Residual	0.01	11.00	0.00			
Cor Total	0.23	13.00				

En la Tabla 37, se presenta el análisis de variabilidad para la característica de volumen específico. El valor F del modelo, que alcanza 98.16, indica que el modelo es estadísticamente significativo, con solo un 0.05% de probabilidad de que este resultado carezca de relevancia y se deba a otros factores externos. Esta conclusión se fundamenta en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que valida la fiabilidad del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" menores a 0.0500 confirman que los términos analizados poseen significancia estadística, destacándose los componentes de la mezcla lineal como factores determinantes en la variabilidad del volumen específico.

Tabla 38. Coeficientes estadísticos para el atributo Volumen específico

Coeficiente	Valor	Coeficiente	Valor
Std. Dev.	0.033	R-cuadrado	0.9469
Mean	2.43	R ² -ajustada	0.9373
C.V. %	1.38	R ² - previsto	0.9271
PRESS	0.017	Predicción adecuada	24.875

En la Tabla 38, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, reflejado en un coeficiente de correlación (R^2) de 0.9469 para la característica de volumen específico, según la información recopilada mediante el software Design Expert v.7.0. Además, el R^2 previsto de 0.9271 indica un ajuste satisfactorio, considerando que el modelo explica aproximadamente 1.38% de la variabilidad en los datos. La coherencia entre el R^2 previsto (0.9271) y el R^2 ajustado (0.9373) respalda la solidez del modelo y su capacidad predictiva.

A continuación, se presenta la ecuación matemática que describe el modelo numérico empleado para optimizar el volumen específico de los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades de medida originales para garantizar precisión en la interpretación de los resultados. No obstante, es importante señalar que esta ecuación no permite evaluar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan según las unidades de cada variable, y la intersección del diseño experimental no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

Volumen Específico =

2.6627 * Harina de Trigo

1.37974 * Harina de Hongo

1.56881 * Harina de Cañihua

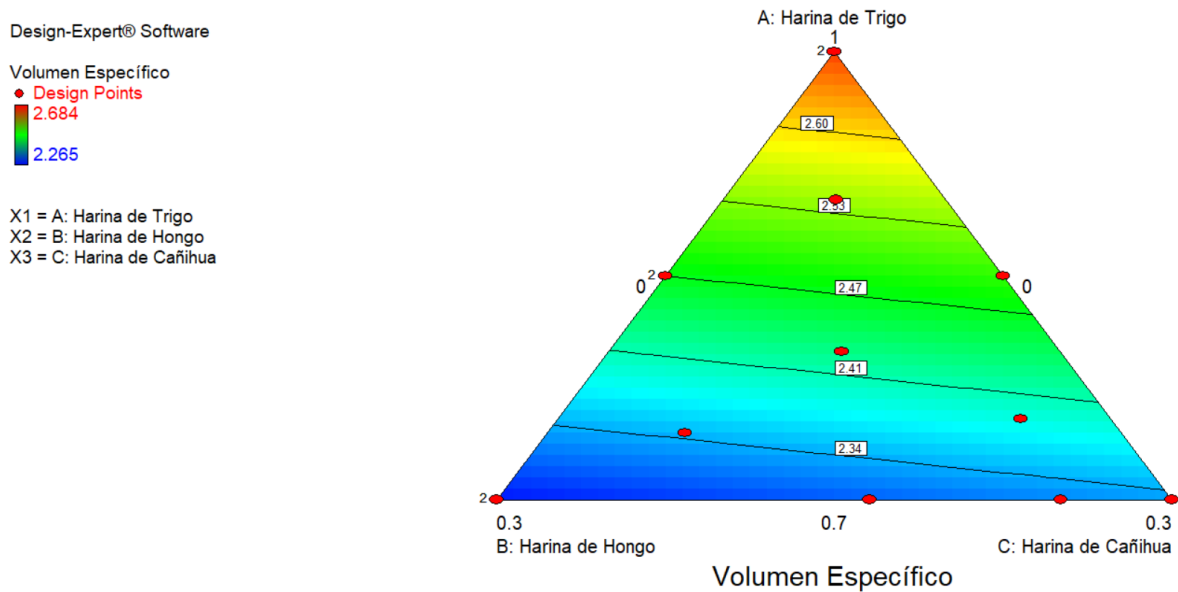


Figura 24. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo volumen específico

En la Figura 24, se presenta el gráfico de contorno que representa la variación del volumen específico en función de la combinación de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en la formulación de cupcakes. Se observa que la zona destacada en rojo corresponde al mayor volumen específico, con un valor de 2.68, asociado a la Formulación 5, que contiene 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la zona azul representa el volumen específico más bajo, con un puntaje de 5.15, correspondiente a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%). Por otro lado, la zona verde indica un volumen específico intermedio, vinculado a la Formulación 10, la cual está compuesta por 479.6 g de harina de trigo (79.9%), 58.2 g de harina de hongo comestible (9.7%) y 62.1 g de harina de cañihua (10.4%).

Volumen Específico



X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

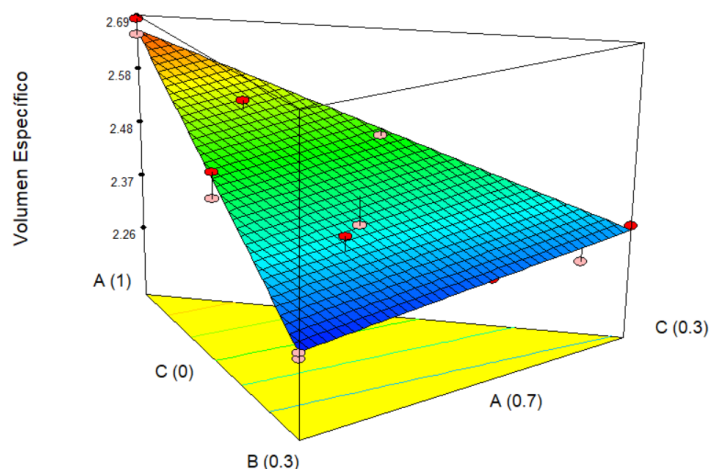


Figura 25. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo volumen específico

En la Figura 25, se presenta el gráfico de superficie de respuesta que ilustra la variación del volumen específico en cupcakes formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe tonalidades diferenciadas, donde el color rojo representa los valores más altos de volumen específico, el verde indica valores intermedios y el azul señala los niveles más bajos. A partir de esta representación, se determinó que la Formulación N° 5 alcanzó la mayor puntuación en volumen específico, compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin adición de harina de cañihua (0%) ni harina de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja correspondió a la Formulación N° 11, que contenía 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%).

3.1.3.5. Color de Corteza

Se analizaron tres parámetros de colorimetría: Luminosidad, Cromaticidad y Angulo de tonalidad, en la corteza de los Cupcakes, tal como se muestra en la siguiente tabla 39.

Tabla 39. Parámetros de colorimetría: Luminosidad, Cromaticidad y Angulo

Formulación	Harina de trigo (%)	Harina de hongo comestible (%)	Harina de cañihua (%)	Color de la Corteza				
				ΔL	Δa^*	Δb^*	Croma ticidad	Angulo de tonalidad
F1	100.0%	0.0%	0.0%	80.21	8.48	48.23	48.964	1.40
F2	85.0%	15.0%	0.0%	59.56	13.96	27.89	31.186	1.11
F3	70.0%	4.9%	25.1%	46.70	18.46	30.35	35.520	1.02
F4	74.5%	19.4%	6.1%	45.97	15.78	29.75	33.672	1.08
F5	100.0%	0.0%	0.0%	80.89	8.99	49.45	50.261	1.39
F6	85.0%	0.0%	15.0%	62.25	7.51	18.31	19.791	1.18
F7	70.0%	0.0%	30.0%	42.65	16.93	24.69	29.937	0.97
F8	70.0%	30.0%	0.0%	45.80	10.28	5.59	11.697	0.50
F9	85.0%	15.0%	0.0%	61.38	14.68	25.59	29.506	1.05
F10	79.9%	9.7%	10.4%	52.41	15.27	23.22	27.793	0.99
F11	70.0%	30.0%	0.0%	38.54	9.92	7.09	12.192	0.62
F12	75.4%	4.0%	20.6%	48.14	16.06	28.31	32.543	1.05
F13	90.1%	4.9%	5.0%	68.25	9.83	23.66	25.618	1.18
F14	70.0%	13.4%	16.6%	42.57	13.84	18.82	23.363	0.94

Tabla 40. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo color de corteza

Parámetro de color de corteza	Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error
Luminosidad	Linear	2.250	0.977	0.973	0.957	106.700
	Quadratic	2.510	0.980	0.967	0.921	194.600
	Special Cubic	2.480	0.983	0.968	0.927	179.780
	Cubic	2.710	0.988	0.961	0.880	295.920
Cromaticidad	Linear	8.010	0.571	0.492	0.342	1080.110
	Quadratic	5.750	0.839	0.739	0.501	818.830
	Special Cubic	5.680	0.862	0.744	0.271	1196.750
	Cubic	3.110	0.976	0.923	-2.883	6376.680
Angulo de tonalidad	Linear	0.098	0.864	0.840	0.776	0.180
	Quadratic	0.084	0.928	0.883	0.820	0.140
	Special Cubic	0.089	0.930	0.870	0.652	0.270
	Cubic	0.079	0.968	0.895	-2.640	2.850

En la tabla 40 se observa al modelo lineal como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.977$ y 0.864) cercano a 1, es decir, los datos de la variable luminosidad y ángulo de tonalidad se ajustan más al comportamiento de una función lineal. Por otro lado, la cromaticidad, se ajusta a un modelo cuadrático ($R^2 = 0.839$).

Tabla 41. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color de corteza

Parámetro de color de corteza	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F
Luminosidad	Model	12.03	6.00	2.00	22.95	0.0003
	Linear Mixture	9.26	2.00	4.63	53.01	< 0.0001
	Residual	0.61	7	0.087		
	Cor Total	12.64	13.00			
Cromaticidad	Model	1603.39	9.00	178.15	18.37	0.0065
	Linear Mixture	936.80	2.00	468.40	48.29	0.0016
	AB	0.09	1.00	0.09	0.01	0.9292
	AC	282.13	1.00	282.13	29.09	0.0057
	BC	0.22	1.00	0.22	0.02	0.8866
	ABC	56.86	1.00	56.86	5.86	0.0727
	AB(A-B)	78.16	1	78.16	8.06	0.0469
	AC(A-C)	0.43	1	0.43	0.044	0.8433
	BC(B-C)	20.3	1	20.3	2.09	0.2216
	Residual	38.8	4	9.7		
Cor Total	1642.18	13.00				
Angulo de tonalidad	Model	0.68	2.00	0.34	35.03	< 0.0001
	Linear Mixture	0.68	2.00	0.34	35.03	< 0.0001
	Residual	0.11	11.00	0.01		
	Cor Total	0.78	13.00			

En la Tabla 41, se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a las características de luminosidad, cromaticidad y ángulo de tonalidad. Los valores F del modelo, que alcanzan 22.95, 18.37 y 35.03 respectivamente, indican que el modelo posee relevancia estadística, con solo un 0.05% de probabilidad de que estos valores carezcan de significado y sean producto de otros factores. Esta conclusión se sustenta en el hecho de que el p-valor es menor a 0.05, lo que confirma la validez del modelo. Asimismo, los valores de "Prob > F" menores a 0.0500 reflejan la significancia estadística de los términos del modelo. En este sentido, para las variables de luminosidad y ángulo de tonalidad, los componentes de la mezcla lineal demostraron

ser significativos, mientras que en el caso de la cromaticidad, los términos relevantes fueron los parámetros BC y AB (A-B).

Tabla 41. Coeficientes estadísticos para el atributo Aceptabilidad general

Parámetro de color de corteza	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Luminosidad	Std. Dev.	2.25	R-cuadrado	0.9773
	Mean	55.38	R ² -ajustada	0.9732
	C.V. %	4.06	R ² - previsto	0.9566
	PRESS	106.7	Predicción adecuada	37.151
Cromaticidad	Std. Dev.	3.11	R-cuadrado	0.9764
	Mean	29.43	R ² -ajustada	0.9232
	C.V. %	10.58	R ² - previsto	-2.883
	PRESS	6376.68	Predicción adecuada	14.311
Angulo de tonalidad	Std. Dev.	0.098	R-cuadrado	0.8643
	Mean	1.03	R ² -ajustada	0.8396
	C.V. %	9.5	R ² - previsto	0.7759
	PRESS	0.18	Predicción adecuada	16.207

En la Tabla 42, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, con un coeficiente de correlación (R²) de 0.978, 0.976 y 0.864 para las características de luminosidad, cromaticidad y ángulo de tonalidad, respectivamente, de acuerdo con la información recopilada mediante el software DesignExpert v.7.0. Se obtuvo un R² previsto de 0.9566 para la luminosidad y 0.7759 para el ángulo de tonalidad, lo que se considera satisfactorio, dado que estos modelos explican aproximadamente el 4.06% y el 9.5% de la variabilidad, respectivamente.

No obstante, se reportó un R² negativo (-2.883) en cromaticidad, lo que indica que no existe un buen ajuste entre los datos observados y proyectados. En la ecuación que se presenta a continuación, se detalla el modelo matemático utilizado para determinar los

valores óptimos de luminosidad, cromaticidad y ángulo de tonalidad en los cupcakes. Es crucial que los niveles se expresen en sus unidades originales específicas para cada factor evaluado. Sin embargo, es relevante señalar que esta ecuación no es adecuada para analizar el impacto relativo de cada factor, ya que los coeficientes se ajustan a sus respectivas unidades, y la intersección no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

Luminosidad Corteza =
 80.05472 * Harina de Trigo
 -48.96626 * Harina de Hongo
 -41.62021 * Harina de Cañihua

Cromaticidad Corteza =
 49.81874 * Harina de Trigo
 -9842.33004 * Harina de Hongo
 54.58363 * Harina de Cañihua
 17237.81997 * Harina de Trigo * Harina de Hongo
 85.39673 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
 -340.57389 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua
 9197.02893 * Harina de Trigo * Harina de Hongo * Harina de Cañihua
 -8213.8815 * Harina de Trigo * Harina de Hongo * (Harina de Trigo-Harina de Hongo)
 -457.12412 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua * (Harina de Trigo-Harina de Cañihua)
 -2576.15385 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua * (Harina de Hongo-Harina de Cañihua)

Angulo de tonalidad Corteza =
 1.40101 * Harina de Trigo
 -1.05746 * Harina de Hongo
 0.20775 * Harina de Cañihua

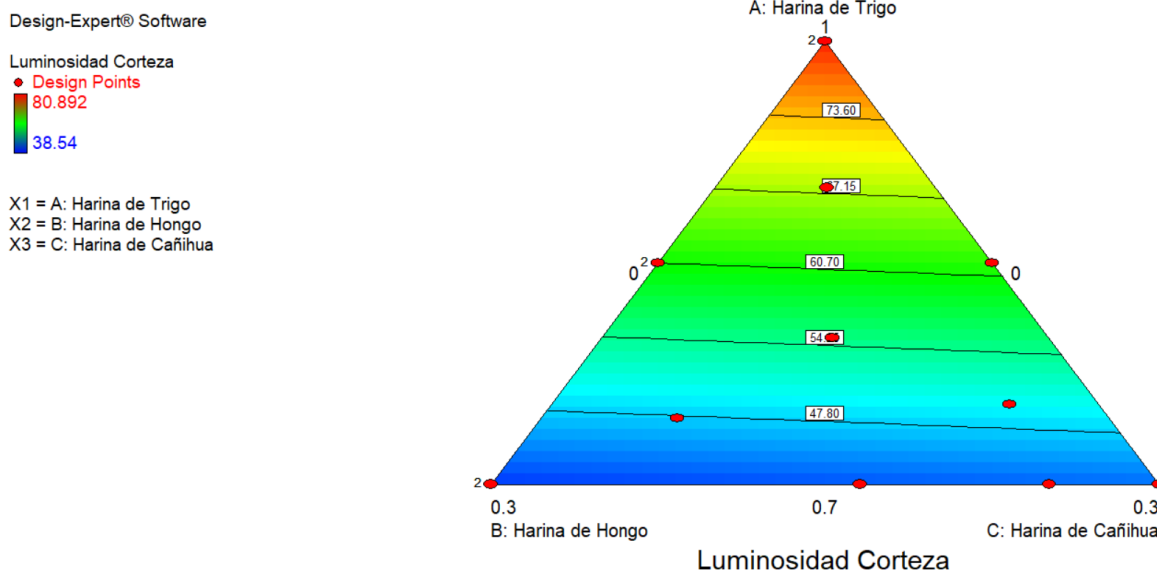


Figura 26. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de corteza

En la Figura 26, se presenta el gráfico de contorno que ilustra la variación de la luminosidad en cupcakes elaborados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Se identifica que la zona resaltada en rojo corresponde a la mayor luminosidad, alcanzando un valor de 80.89, asociado a la Formulación 1, la cual está compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua ni de hongo comestible. Por otro lado, la zona azul representa la menor luminosidad, con un puntaje de 38.54, correspondiente a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%), sin presencia de harina de cañihua. Finalmente, en la zona verde, que refleja una luminosidad intermedia, se encuentra la Formulación 2, conformada por 510 g de harina de trigo (85%) y 90 g de harina de hongo comestible (15%), sin contenido de harina de cañihua.

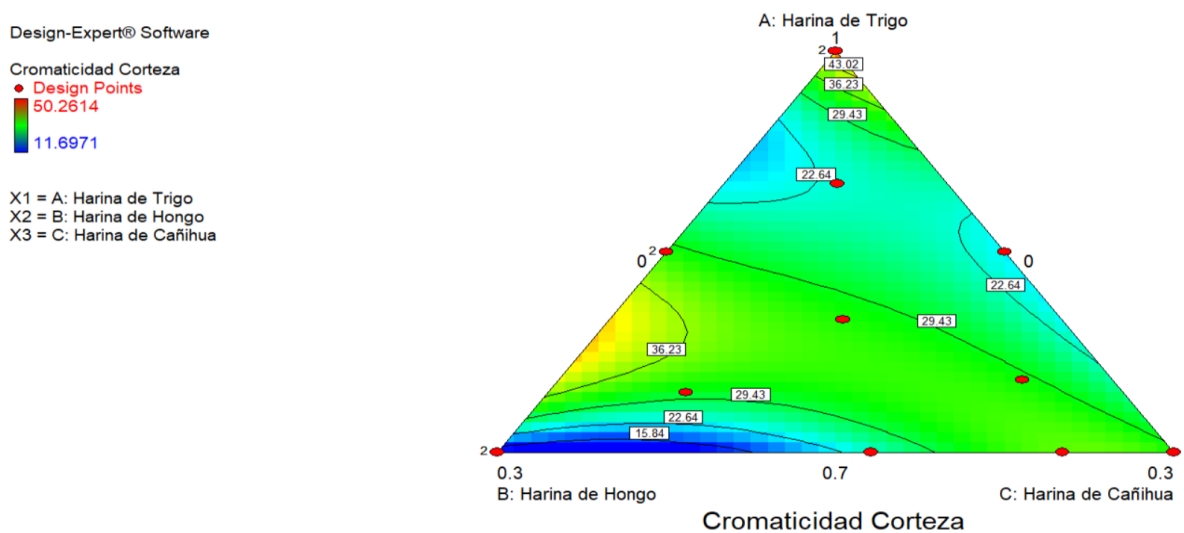


Figura 27. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de corteza

En la Figura 27, se presenta el gráfico de contorno que muestra la variación de la cromaticidad en cupcakes elaborados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Se evidencia que la zona resaltada en amarillo corresponde a la mayor cromaticidad, alcanzando un valor de 50.26, asociada a la Formulación 5, compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin inclusión de harina de cañihua ni de hongo comestible. En contraste, la zona azul representa la menor cromaticidad, con un puntaje de 12.19, correspondiente a la Formulación 11, que incorpora 420 g de harina de trigo (70%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%), sin contenido de harina de cañihua. Finalmente, la zona verde, que refleja una cromaticidad intermedia, está relacionada con la Formulación 2, integrada por 510 g de harina de trigo (85%) y 90 g de harina de hongo comestible (15%), sin presencia de harina de cañihua.

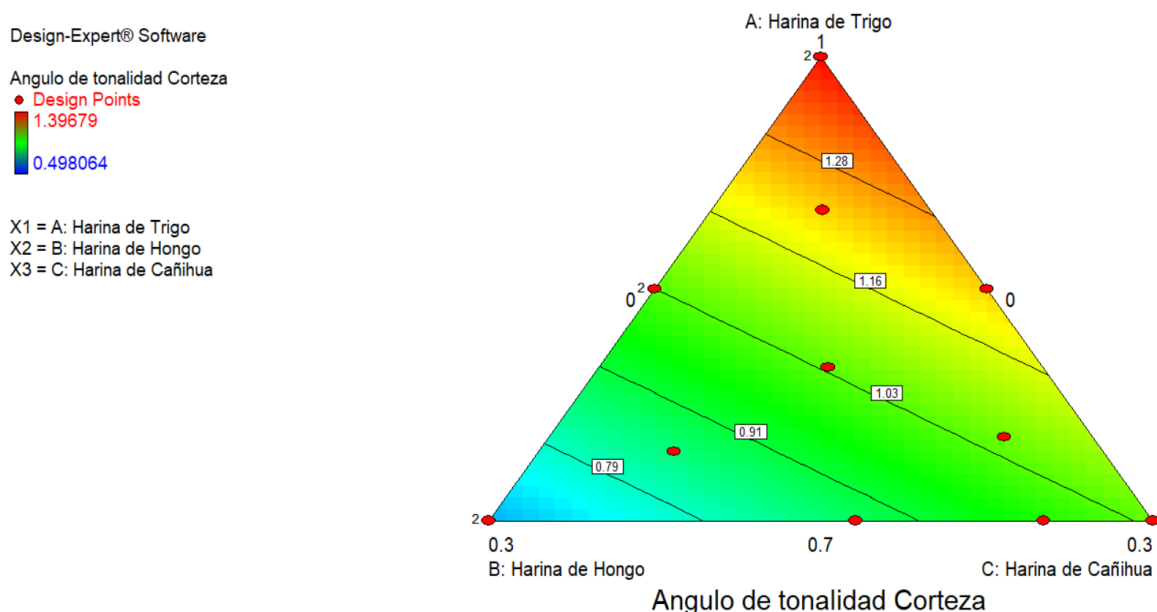


Figura 28. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de corteza

En la Figura 28, se presenta el gráfico de contorno que ilustra la variación del ángulo de tonalidad en cupcakes formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Se observa que la zona resaltada en rojo indica el mayor ángulo de tonalidad, con un valor de 1.391, asociado a la Formulación 5, compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua ni de hongo comestible. En contraste, la zona azul representa el menor ángulo de tonalidad, con una puntuación de 0.6207, correspondiente a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%), sin presencia de harina de cañihua. Por último, la zona verde refleja un ángulo de tonalidad intermedio, vinculado a la Formulación 2, compuesta por 510 g de harina de trigo (85%) y 90 g de harina de hongo comestible (15%), sin adición de harina de cañihua.

Luminosidad Corteza

80.892

38.54

X1 = A: Harina de Trigo

X2 = B: Harina de Hongo

X3 = C: Harina de Cañihua

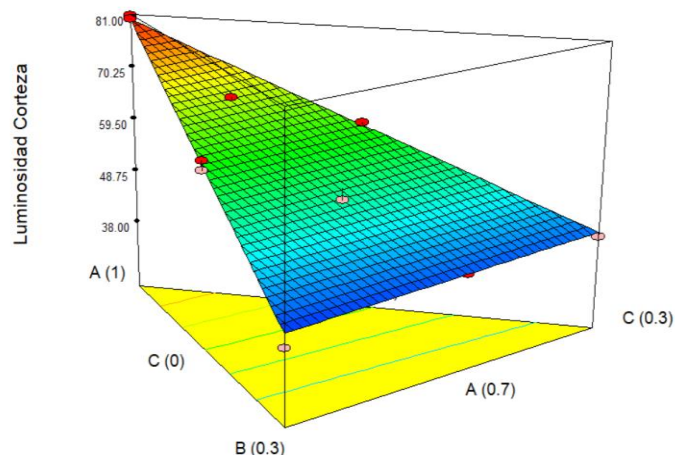


Figura 29. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de corteza

En la Figura 29, se presenta el gráfico de superficie de respuesta correspondiente a la luminosidad en cupcakes elaborados con distintas proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe variaciones cromáticas, donde el color rojo representa los valores más altos de luminosidad, el verde indica niveles intermedios y el azul señala las mediciones más bajas. A partir del análisis de la representación gráfica, se identificó que la Formulación 1 obtuvo la mayor puntuación en luminosidad, alcanzando los valores más altos con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin inclusión de harina de cañihua ni de hongo comestible. En contraste, la Formulación 11 presentó el menor nivel de luminosidad, con una mezcla de 420 g de harina de trigo (70%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%), sin incorporación de harina de cañihua.

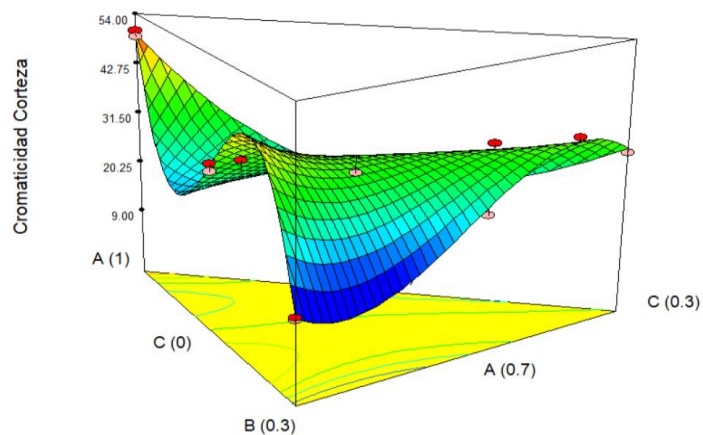


Figura 30. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de corteza

En la Figura 30, se muestra el gráfico de superficie de respuesta correspondiente a la cromaticidad en cupcakes elaborados con diversas proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este modelo tridimensional exhibe variaciones en tonalidades, donde el color rojo amarillento indica los valores más altos de cromaticidad, el verde representa niveles intermedios y el azul señala los valores más bajos. Con base en esta representación gráfica, se determinó que la Formulación 5 alcanzó la mayor puntuación en cromaticidad, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin incorporación de harina de cañihua ni de hongo comestible. En contraste, la Formulación 11 presentó el nivel más bajo de cromaticidad, con una mezcla de 420 g de harina de trigo (70%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%), sin adición de harina de cañihua.

Design-Expert® Software
 Angulo de tonalidad Corteza
 1.39679
 0.498064
 X1 = A: Harina de Trigo
 X2 = B: Harina de Hongo
 X3 = C: Harina de Cañihua

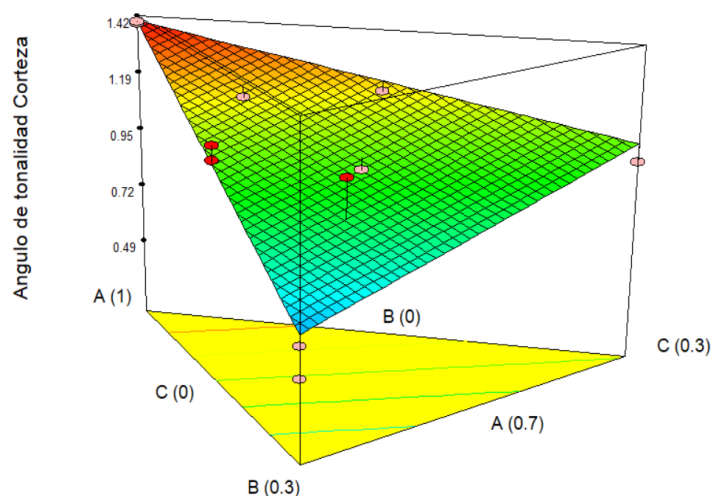


Figura 31. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de corteza

La Figura 31 presenta el gráfico de superficie de respuesta para el atributo ángulo de tonalidad en cupcakes elaborados con distintas proporciones de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible. Este gráfico tridimensional ilustra variaciones cromáticas donde el color rojo representa los valores más altos del ángulo de tonalidad, el verde indica valores intermedios y el azul señala los niveles más bajos. A partir del análisis de esta representación, se identificó que la Formulación 1 obtuvo la mayor puntuación en ángulo de tonalidad, con una composición de 600 g de harina de trigo (100%), sin inclusión de harina de cañihua ni de hongo comestible. En contraste, la Formulación 11 registró la puntuación más baja, con una mezcla de 420 g de harina de trigo (70%) y 180 g de harina de hongo comestible (30%), sin adición de harina de cañihua.

3.1.3.6. Color de Miga

Se analizaron tres parámetros de colorimetría: Luminosidad, Cromaticidad y Angulo de tonalidad, en la miga de los Cupcakes, tal como se muestra en la siguiente tabla 43.

Tabla 42. Parámetros de colorimetría: Luminosidad, Cromaticidad y Angulo de tonalidad, en la miga de los Cupcakes

Formulación	Harina de trigo (%)	Harina de hongo comestible (%)	Harina de cañihua (%)	Color de la Corteza				
				ΔL	Δa^*	Δb^*	Croma ticidad	Angulo de tonalidad
F1	100.0%	0.0%	0.0%	80.21	8.48	48.23	48.964	1.40
F2	85.0%	15.0%	0.0%	59.56	13.96	27.89	31.186	1.11
F3	70.0%	4.9%	25.1%	46.70	18.46	30.35	35.520	1.02
F4	74.5%	19.4%	6.1%	45.97	15.78	29.75	33.672	1.08
F5	100.0%	0.0%	0.0%	80.89	8.99	49.45	50.261	1.39
F6	85.0%	0.0%	15.0%	62.25	7.51	18.31	19.791	1.18
F7	70.0%	0.0%	30.0%	42.65	16.93	24.69	29.937	0.97
F8	70.0%	30.0%	0.0%	45.80	10.28	5.59	11.697	0.50
F9	85.0%	15.0%	0.0%	61.38	14.68	25.59	29.506	1.05
F10	79.9%	9.7%	10.4%	52.41	15.27	23.22	27.793	0.99
F11	70.0%	30.0%	0.0%	38.54	9.92	7.09	12.192	0.62
F12	75.4%	4.0%	20.6%	48.14	16.06	28.31	32.543	1.05
F13	90.1%	4.9%	5.0%	68.25	9.83	23.66	25.618	1.18
F14	70.0%	13.4%	16.6%	42.57	13.84	18.82	23.363	0.94

Tabla 43. Ajuste del diseño de mezclas al modelo para el atributo color de miga

Parámetro de color de corteza	Modelo	Dev. Std.	R - cuadrado	R - cuadrado ajustado	R - cuadrado predicho	Error
Luminosidad	Linear	2.240	0.977	0.973	0.957	105.380
	Quadratic	2.480	0.980	0.967	0.922	190.620
	Special Cubic	2.500	0.982	0.967	0.924	185.040
	Cubic	2.600	0.989	0.964	0.895	257.700
Cromaticidad	Linear	7.950	0.574	0.496	0.347	1063.630
	Quadratic	5.610	0.845	0.748	0.511	797.060
	Special Cubic	5.530	0.869	0.756	0.284	1165.830
	Cubic	3.040	0.977	0.926	-2.803	6191.810
Angulo de	Linear	0.073	0.885	0.864	0.818	0.093
	Quadratic	0.064	0.936	0.895	0.843	0.080

tonalidad	Special Cubic	0.068	0.937	0.883	0.709	0.150
	Cubic	0.063	0.969	0.898	-2.699	1.890

En la tabla 44 se observa al modelo lineal como seleccionado debido a que tiene mayor coeficiente de correlación ($R^2 = 0.977$ y 0.885) cercano a 1, es decir, los datos de la variable luminosidad y ángulo de tonalidad se ajustan más al comportamiento de una función lineal. Por otro lado, la cromaticidad, se ajusta a un modelo cuadrático ($R^2 = 0.845$).

Tabla 44. Análisis de varianza (ANOVA) para el atributo color de miga

Parámetro de color de miga	Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F Valor	p - valor Prob > F
Luminosidad	Model	2388.34	2.00	1194.17	237.12	< 0.0001
	Linear Mixture	2388.34	2.00	1194.17	237.12	< 0.0001
	Residual	55.4	11	5.04		
	Cor Total	2443.73	13.00			
Cromaticidad	Model	1591.28	9.00	176.81	19.09	0.0061
	Linear Mixture	933.82	2.00	466.91	50.41	0.0015
	AB	0.07	1.00	0.07	0.01	0.936
	AC	284.10	1.00	284.10	30.67	0.0052
	BC	0.07	1.00	0.07	0.01	0.9341
	ABC	58.07	1.00	58.07	6.27	0.0665
	AB(A-B)	78.29	1	78.29	8.45	0.0438
	AC(A-C)	0.093	1	0.093	0.01	0.925
	BC(B-C)	21.95	1	21.95	2.37	0.1985
	Residual	37.05	4	9.26		
Cor Total	1628.33	13.00				
Angulo de tonalidad	Model	0.45	2.00	0.23	42.21	< 0.0001
	Linear Mixture	0.45	2.00	0.23	42.21	< 0.0001
	Residual	0.06	11.00	0.01		
	Cor Total	0.51	13.00			

En la Tabla 45 se presenta el análisis de variabilidad correspondiente a las propiedades de luminosidad, cromaticidad y ángulo de tonalidad. El valor F del modelo, con valores de 237.12, 19.09 y 42.21, respectivamente, confirma la significancia del modelo, con una probabilidad del 0.05% de que estos valores carezcan de relevancia y sean producto del azar. Esta afirmación se sustenta en el p-valor, el cual se encuentra por debajo del umbral de 0.05, validando así la fiabilidad del modelo. Además, los valores de "Prob > F" inferiores a 0.0500 indican que los términos incluidos en los modelos presentan significancia estadística. En este contexto, para las variables luminosidad y ángulo de tonalidad, los componentes de la mezcla lineal resultaron significativos, mientras que en el caso de la cromaticidad, estos factores no mostraron relevancia estadística.

Tabla 45. Coeficientes estadísticos para el atributo Aceptabilidad general

Parámetro de color de miga	Coefficiente	Valor	Coefficiente	Valor
Luminosidad	Std. Dev.	2.24	R-cuadrado	0.9773
	Mean	51.47	R ² -ajustada	0.9732
	C.V. %	4.36	R ² - previsto	0.9569
	PRESS	105.38	Predicción adecuada	37.101
Cromaticidad	Std. Dev.	3.04	R-cuadrado	0.9772
	Mean	34.63	R ² -ajustada	0.926
	C.V. %	8.79	R ² - previsto	-2.8026
	PRESS	6191.81	Predicción adecuada	14.58
Angulo de tonalidad	Std. Dev.	0.073	R-cuadrado	0.8847
	Mean	1.04	R ² -ajustada	0.8638
	C.V. %	7.01	R ² - previsto	0.8181
	PRESS	0.093	Predicción adecuada	17.694

En la Tabla 46, se observa un ajuste adecuado de los datos al modelo, evidenciado por los valores del coeficiente de correlación (R²) para las características de luminosidad, cromaticidad y ángulo de tonalidad, que se sitúan en 0.9773, 0.9772 y 0.8847,

respectivamente, según la información recopilada mediante el software Design Expert v.7.0. El R^2 previsto en luminosidad es de 0.9569, mientras que para el ángulo de tonalidad es de 0.8181, lo cual indica un ajuste satisfactorio, dado que estos modelos explican aproximadamente el 4.36% y 7.01% de la variabilidad, respectivamente. No obstante, se identificó un R^2 previsto negativo (-2.8026) en cromaticidad, lo que sugiere una falta de ajuste adecuado para esta variable. A continuación, se presenta la ecuación matemática utilizada para ajustar los datos y obtener valores óptimos de luminosidad, cromaticidad y ángulo de tonalidad en los cupcakes. Es fundamental que los niveles de cada variable se expresen en sus unidades originales. Sin embargo, es relevante señalar que esta ecuación no permite analizar el impacto relativo de cada factor, debido a que los coeficientes han sido ajustados según las unidades de cada variable, y la intersección del modelo no se encuentra en el centro del espacio de diseño.

Luminosidad Miga =

- 76.06387 * Harina de Trigo
- 52.41076 * Harina de Hongo
- 45.34444 * Harina de Cañihua

Cromaticidad Miga =

- 54.64336 * Harina de Trigo
- 9859.4676 * Harina de Hongo
- 355.55523 * Harina de Cañihua
- 17272.53456 * Harina de Trigo * Harina de Hongo
- 432.0295 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua
- 587.78867 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua
- 9294.47333 * Harina de Trigo * Harina de Hongo * Harina de Cañihua
- 8220.25289 * Harina de Trigo * Harina de Hongo * (Harina de Trigo-Harina de Hongo)
- 212.18187 * Harina de Trigo * Harina de Cañihua * (Harina de Trigo-Harina de Cañihua)
- 2679.21605 * Harina de Hongo * Harina de Cañihua * (Harina de Hongo-Harina de Cañihua)

Angulo de tonalidad Miga =
 1.35654 * Harina de Trigo
 -0.64173 * Harina de Hongo
 0.23403 * Harina de Cañihua

Design-Expert® Software

Luminosidad Miga

● Design Points

76.92

34.98

X1 = A: Harina de Trigo

X2 = B: Harina de Hongo

X3 = C: Harina de Cañihua

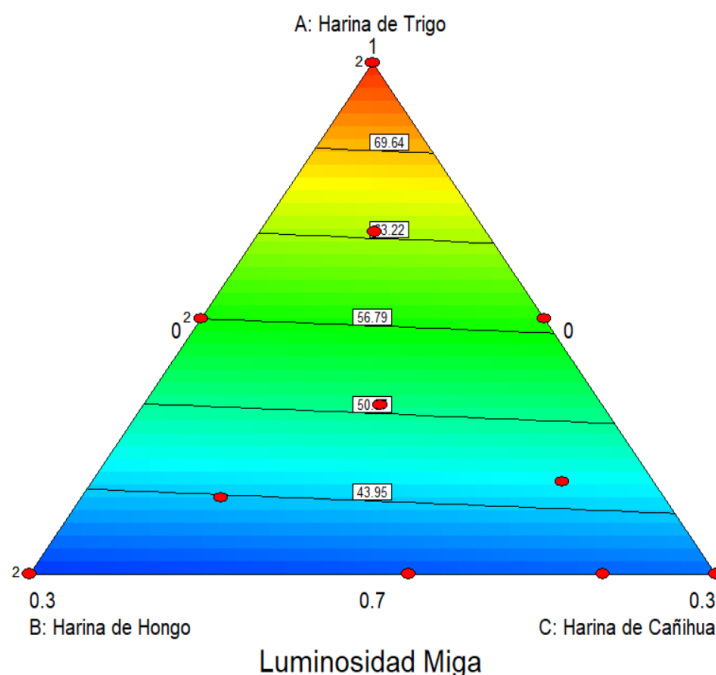


Figura 32. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de miga

La Figura 32 presenta el gráfico de contorno correspondiente a la luminosidad en cupcakes elaborados con una combinación de harina de trigo, cañihua y hongo comestible. Se observa que la zona resaltada en rojo indica el nivel más alto de luminosidad, alcanzando un valor de 76.92, correspondiente a la Formulación 5, la cual está compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin presencia de harina de cañihua ni de hongo comestible (0%). Por otro lado, la zona azul representa la menor luminosidad, con una puntuación de 34.98, correspondiente a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%). Finalmente, la zona verde, que indica un nivel intermedio de luminosidad, está asociada a la Formulación 2, con 510 g de harina de trigo (85%), 90 g de harina de hongo comestible (15%) y 0 g de harina de cañihua (0%), obteniendo una puntuación de 55.47.

Design-Expert® Software

Cromaticidad Miga

● Design Points

55.1682

16.8951

X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

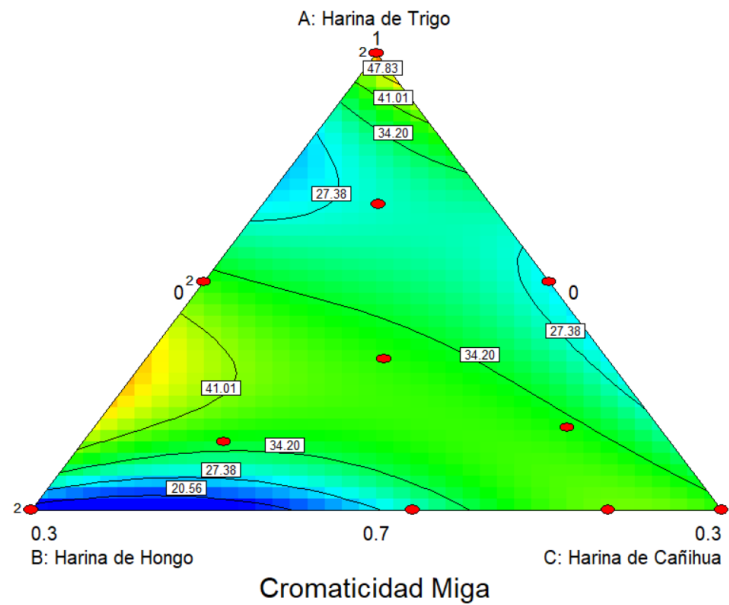


Figura 33. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de miga

La Figura 33 presenta el gráfico de contorno correspondiente a la cromaticidad en cupcakes elaborados con diferentes proporciones de harina de trigo, cañihua y hongo comestible. Se evidencia que la región resaltada en amarillo representa el nivel más alto de cromaticidad, alcanzando un valor de 50.17, correspondiente a la Formulación 5, compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin presencia de harina de cañihua ni de hongo comestible (0%). En contraste, la zona azul indica la menor cromaticidad, con una puntuación de 16.9, correspondiente a la Formulación 11, que contiene 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%). Por último, la zona verde, que representa un nivel intermedio de cromaticidad, está asociada a la Formulación 2, con 510 g de harina de trigo (85%), 90 g de harina de hongo comestible (15%) y 0 g de harina de cañihua (0%), obteniendo una puntuación de 36.29.

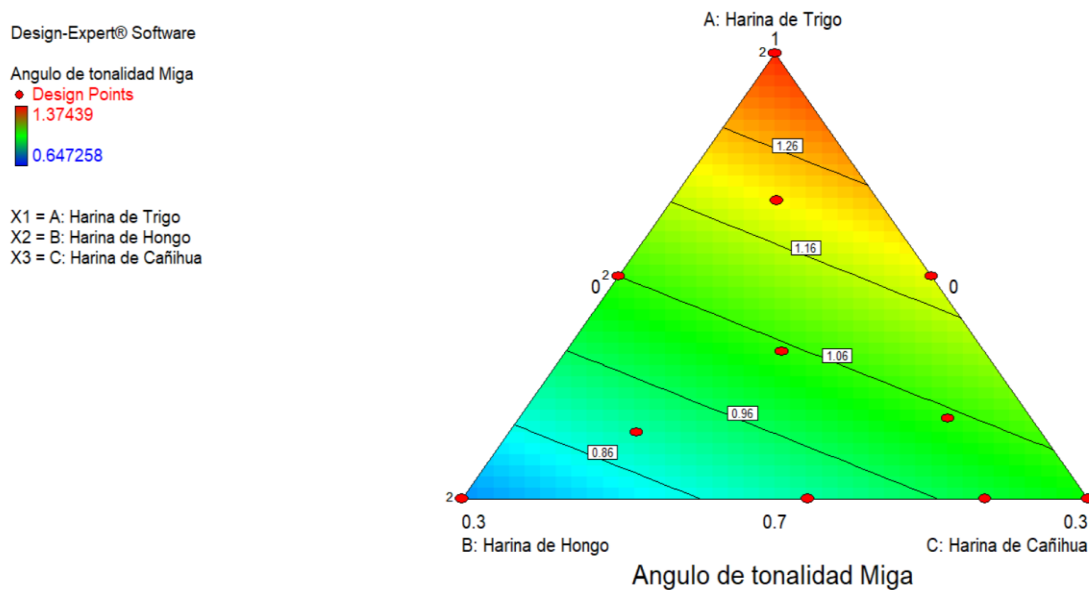


Figura 34. Superficie de contorno de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de miga

La Figura 34 muestra el gráfico de contorno correspondiente al ángulo de tonalidad en cupcakes elaborados con distintas proporciones de harina de trigo, cañihua y hongo comestible. Se observa que la zona resaltada en rojo representa el valor más alto del ángulo de tonalidad, con una puntuación de 1.366, correspondiente a la Formulación 5, la cual está compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin presencia de harina de cañihua ni de hongo comestible (0%). Por otro lado, la región azul refleja el nivel más bajo de ángulo de tonalidad, alcanzando un valor de 0.7303, correspondiente a la Formulación 11, que contiene 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%). Finalmente, la zona verde, que representa un nivel intermedio de ángulo de tonalidad, está asociada a la Formulación 2, integrada por 510 g de harina de trigo (85%), 90 g de harina de hongo comestible (15%) y 0 g de harina de cañihua (0%), obteniendo una puntuación de 1.114.

Design-Expert® Software

Luminosidad Miga

76.92

34.98

X1 = A: Harina de Trigo

X2 = B: Harina de Hongo

X3 = C: Harina de Cañihua

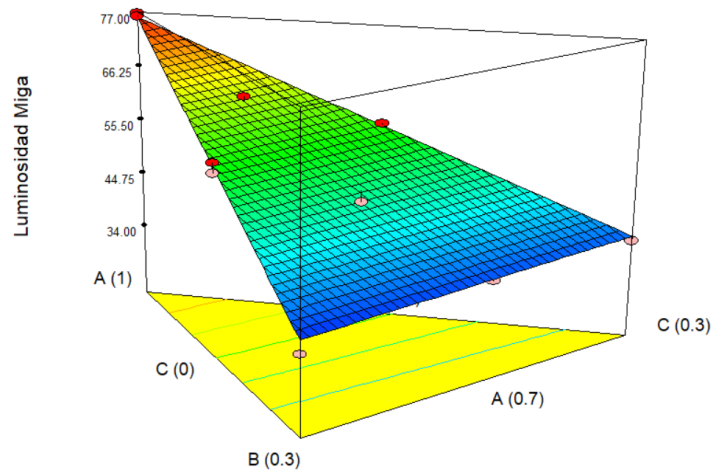


Figura 35. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo luminosidad de miga

La Figura 35 presenta el gráfico de superficie de respuesta correspondiente al atributo luminosidad en cupcakes formulados con distintas combinaciones de harina de trigo, cañihua y hongo comestible. En esta representación tridimensional, se identifican variaciones cromáticas donde el color rojo señala los niveles más altos de luminosidad, el verde indica valores intermedios y el azul refleja los niveles más bajos. A partir de esta gráfica, se determinó que la formulación con mayor puntuación en luminosidad corresponde a la Formulación 1, compuesta por 600 g de harina de trigo (100%), sin presencia de harina de cañihua ni de hongo comestible (0%). En contraste, la puntuación más baja se atribuye a la Formulación 11, que incluye 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%).

Cromaticidad Miga

55.1682

16.8951

X1 = A: Harina de Trigo

X2 = B: Harina de Hongo

X3 = C: Harina de Cañihua

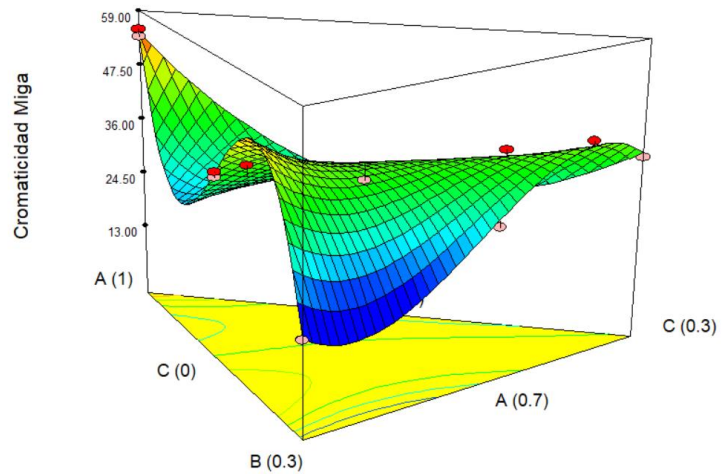


Figura 36. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo cromaticidad de miga

La Figura 36 muestra el gráfico de superficie de respuesta del atributo cromaticidad en cupcakes preparados con diferentes proporciones de harina de trigo, cañihua y hongo comestible. En esta representación tridimensional, se observan variaciones de color, donde el tono rojo-amarillento indica los valores más altos de cromaticidad, el verde representa valores intermedios y el azul refleja los niveles más bajos. Según la interpretación de la gráfica, la formulación con mayor puntuación en cromaticidad corresponde a la Formulación 5, la cual está compuesta exclusivamente por 600 g de harina de trigo (100%), sin presencia de harina de cañihua ni de hongo comestible (0%). En contraste, la menor puntuación se obtuvo en la Formulación 11, que contiene 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%).

Angulo de tonalidad Miga



X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua

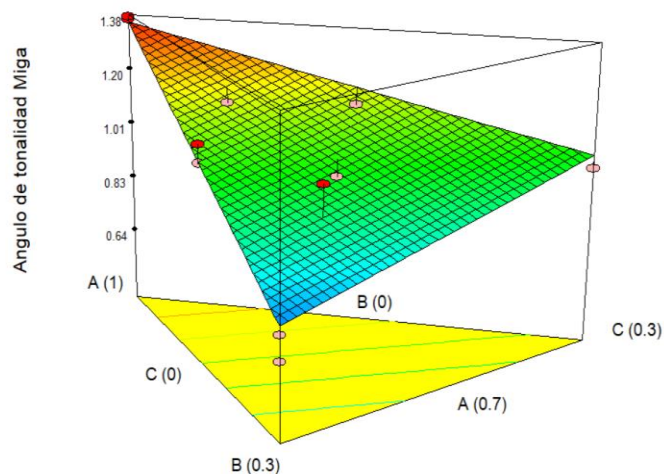


Figura 37. Superficie de respuesta de la mezcla de harina de trigo, harina de cañihua y harina de hongo comestible en cupcakes para el atributo ángulo de tonalidad de miga

La Figura 37 representa el gráfico de superficie de respuesta correspondiente al atributo ángulo de tonalidad en cupcakes formulados con distintas proporciones de harina de trigo, cañihua y hongo comestible. Este gráfico tridimensional muestra variaciones cromáticas, donde el rojo señala los valores más altos del ángulo de tonalidad, el verde refleja niveles intermedios y el azul representa los valores más bajos. A partir del análisis de la representación gráfica, se determinó que la formulación con mayor puntuación en ángulo de tonalidad corresponde a la Formulación 1, elaborada exclusivamente con 600 g de harina de trigo (100%), sin presencia de harina de cañihua ni de hongo comestible (0%). En contraposición, la menor puntuación se registró en la Formulación 11, que incluyó 420 g de harina de trigo (70%), 180 g de harina de hongo comestible (30%) y 0 g de harina de cañihua (0%).

3.1.4. Determinación de la mejor formulación de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua

Tabla 46. Valores de optimización de formulación del cup cake

Variable	Meta	Límite Inferior	Limite Superior	Peso Menor	Peso Superior	Importancia
Harina de Trigo	minimize	0.7	1	1	1	3
Harina de Hongo	maximize	0	0.3	1	1	3
Harina de Cañihua	maximize	0	0.3	1	1	3
Color	maximize	5.57	8.2	1	1	3
Olor	maximize	4.58	8.32	1	1	3
Sabor	maximize	4.6	7.96	1	1	3
Textura	maximize	5.14	8.19	1	1	3
Aceptabilidad general	maximize	5.15	8.23	1	1	3
Humedad	minimize	24.15	30.85	1	1	3
Acidez	maximize	0.32	0.64	1	1	3
Textura (mJ)	maximize	30.49	62.49	1	1	3
Luminosidad	maximize	38.44	80.89	1	1	3
Cromaticidad	maximize	11.69	50.26	1	1	3

La Tabla 46 presenta los parámetros de optimización, diseñados para maximizar la incorporación de harina de hongo y harina de cañihua en la formulación de cupcakes. Asimismo, se establece como objetivo potenciar los atributos sensoriales tales como olor, color, sabor, textura y aceptabilidad general, mientras que, simultáneamente, se busca reducir el contenido de humedad y optimizar los niveles de acidez, textura, luminosidad y cromaticidad, con el propósito de mejorar la vida útil del producto.

Tabla 47. Obtención de mejor formulación de cupcakes

Variable	Formulación 1
Harina de Trigo	0.733
Harina de Hongo	0.108
Harina de Cañihua	0.159
Color	6.79
Olor	6.51
Sabor	6.95
Textura	7.16
Aceptabilidad general	7.44
Humedad	25.24
Acidez	0.58
Textura (mJ)	54.14
Luminosidad	75.62
Cromaticidad	44.58
Desirability	0.587
Selected	

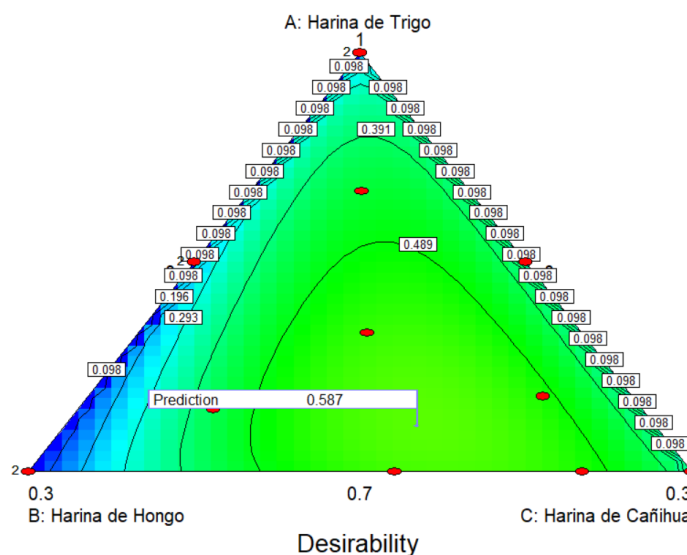
Design-Expert® Software

Desirability

● Design Points



X1 = A: Harina de Trigo
X2 = B: Harina de Hongo
X3 = C: Harina de Cañihua



La tabla 47 presenta la formulación óptima de cupcakes, compuesta por 439.8 g de harina de trigo (73.30%), 64.8 g de harina de hongo comestible (10.8%) y 95.4 g de harina de cañihua (15.9%). Esta combinación, representada también en la gráfica de deseabilidad, alcanzó los valores más altos en las evaluaciones sensoriales, con puntuaciones de 6.51 en

aroma, 6.79 en color, 6.95 en sabor, 7.16 en textura y 7.44 en aceptabilidad general. Asimismo, en cuanto a los parámetros fisicoquímicos, se registraron valores de 25.24 en humedad, 0.58 en acidez, 54.14 mJ en textura, 75.62 en luminosidad y 44.58 en cromaticidad, consolidándose como la mejor formulación dentro del estudio.

3.1.5. Determinación del valor nutricional de la mejor formulación de cupcakes elaborados a base de Harina de hongo comestible y harina de cañihua

La tabla 48 compara las propiedades fisicoquímicas entre la formulación de control y la formulación óptima de cupcakes, resaltando las diferencias porcentuales. La formulación óptima presentó mayor humedad (+12.08%), proteínas (+63.79%), cenizas (+81.63%) y fibra cruda (+85.29%), mientras que mostró una reducción en materia seca (-4.21%), grasas (-9.86%), carbohidratos (-32.52%) y valor calórico (-12.98%). Además, se observó un ligero aumento en la acidez (+12.50%) y un pH estable (+1.37%). Estos resultados indican que la formulación óptima mejora el perfil nutricional al incrementar el contenido proteico y de fibra, reduciendo carbohidratos y calorías.

Tabla 48. Características nutricionales de la mejor formulación de cupcake

Propiedades Fisicoquímicas	Formulación	Formulación	Diferencia (%)
	control	óptima	
Humedad (%)	25.82	28.94	12.08
Materia Seca (%)	74.18	71.06	-4.21
Proteínas (%)	9.86	16.15	63.79
Grasas (%)	17.24	15.54	-9.86
Carbohidratos (%)	45.08	30.42	-32.52
Cenizas (%)	0.98	1.78	81.63
Fibra cruda (%)	1.02	1.89	85.29
Acidez (%)	0.08	0.09	12.50
pH	5.12	5.19	1.37
Valor calórico (kcal/100 g)	374.8	326.14	-12.98

3.2. Discusión

La harina de cañihua, debido a su composición rica en proteínas (14-15%) y fibra (6-7%), constituye un ingrediente de alta calidad nutricional y funcional para la formulación de alimentos enriquecidos. Estudios como los de [61] y [62] resaltan la importancia de los pseudocereales andinos, como la cañihua, por su contenido de antioxidantes, aminoácidos esenciales y minerales biodisponibles, lo que la convierte en una opción para el desarrollo de alimentos funcionales. Además, según [63], los péptidos bioactivos presentes en la cañihua aportan beneficios en la reducción del estrés oxidativo y la mejora de la salud cardiovascular. Por otro lado, la harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) presenta propiedades complementarias. Es rica en proteínas (22%) y compuestos bioactivos como los β -glucanos y ergosteroles, que poseen actividad inmunomoduladora y antioxidante [64], [65]. Además, según [66], [67] los hongos comestibles son una fuente natural de fibra dietética, que contribuye a la mejora de la digestión y la regulación del colesterol. La inclusión de esta harina en formulaciones alimenticias no solo mejora el valor nutricional, sino que también añade propiedades funcionales relevantes [68].

El índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA) son propiedades clave para evaluar el comportamiento de las harinas en procesos de mezcla y horneado. En este estudio, la harina de cañihua mostró un IAA elevado, consistente con lo reportado por [69] quienes señalan que su contenido de fibra insoluble favorece la retención de agua, lo que mejora la viscosidad y textura de las masas. De manera complementaria, la harina de hongo presentó un ISA alto, similar a lo indicado por [70] lo que facilita la formación de matrices homogéneas en mezclas de múltiples ingredientes. Además, estudios como los de [23], [63] indican que las harinas ricas en fibra y proteínas no solo mejoran las propiedades tecnofuncionales, sino que también incrementan la estabilidad del producto final, reduciendo el envejecimiento del almidón durante el almacenamiento.

Los cupcakes formulados con 10.8% de harina de hongo comestible y 15.9% de harina de cañihua alcanzaron altos niveles de aceptación sensorial, especialmente en las dimensiones de sabor, textura y color. Según [12], [71], la inclusión de ingredientes funcionales como pseudocereales y hongos no afecta negativamente las propiedades organolépticas si se logra un equilibrio adecuado en la formulación. El perfil de sabor único de los cupcakes fue bien recibido por los panelistas, destacando el aporte de la

harina de hongo, cuyos compuestos volátiles (terpenos y alcoholes) contribuyen a un aroma característico[23]. Asimismo, el ligero dulzor y notas tostadas de la harina de cañihua complementaron el perfil sensorial del producto, tal como lo reportan investigaciones de Repo-Carrasco-Valencia et al. [72]

La textura de los cupcakes, descrita como homogénea y esponjosa, se vio favorecida por las propiedades tecnofuncionales de las harinas empleadas. Los β -glucanos del hongo, según [23], [66], mejoran la capacidad de retención de humedad, contribuyendo a una textura más húmeda y suave. Además, el contenido de fibra insoluble de la cañihua favoreció la formación de una matriz estructural estable [73]. El color marrón claro de los cupcakes, resultado de los pigmentos naturales de la cañihua (betalainas) y los compuestos fenólicos del hongo, fue un factor que contribuyó a su aceptación sensorial. Según [63] los colores asociados con ingredientes naturales refuerzan la percepción de productos saludables, lo que puede influir en su éxito en el mercado.

La evaluación instrumental de la textura mostró que los cupcakes formulados con harinas de cañihua y hongo presentan una mayor cohesividad y elasticidad en comparación con los cupcakes tradicionales. Esto puede atribuirse a las propiedades tecnofuncionales de estas harinas, como la capacidad de retención de agua de la fibra de cañihua y los β -glucanos presentes en los hongos, que influyen positivamente en la formación de una matriz más estable y menos frágil [18]. Además, la firmeza observada fue ligeramente superior en comparación con productos elaborados exclusivamente con harina de trigo, lo cual es consistente con lo reportado por [12], quienes destacaron el impacto de la fibra dietética en el fortalecimiento de la estructura de productos horneados. Este incremento en firmeza, aunque percibido en menor medida en evaluaciones sensoriales, es un atributo favorable para consumidores que buscan productos más consistentes.

El nivel de acidez (1.11%) y el pH (5.50) del cupcake formulado fueron adecuados para garantizar la estabilidad del producto y una percepción sensorial equilibrada. La acidez ligeramente mayor en comparación con cupcakes tradicionales podría deberse a los ácidos naturales presentes en la cañihua y los hongos, como los ácidos fenólicos y los derivados del ácido málico [23]. Este nivel de acidez también contribuye a la preservación del producto, al limitar el crecimiento de microorganismos no deseados, tal como lo indican [74]. Además, el pH observado es ideal para mantener la funcionalidad

de los β -glucanos y los antioxidantes presentes en las harinas, lo cual puede potenciar los beneficios para la salud del consumidor.

El análisis de color reflejó una disminución en la luminosidad (L^*) del cupcake formulado en comparación con los tradicionales. Esto se debe a los pigmentos naturales presentes en las harinas de cañihua (betalainas) y hongo (compuestos fenólicos y melaninas), que confieren un tono más oscuro al producto. Según [75], este tipo de colores más intensos y menos brillantes son percibidos por los consumidores como indicativos de un producto más natural y nutritivo, lo que podría ser un factor diferenciador en su aceptación en el mercado. En términos de cromaticidad, el valor de a (tendencia hacia el rojo) aumentó ligeramente debido a los pigmentos rojizos de la cañihua, mientras que el valor de b (tendencia hacia el amarillo) se redujo, lo que refleja la neutralización del tono amarillo característico de la harina de trigo por los compuestos oscuros del hongo. Estos cambios en el perfil cromático son consistentes con lo reportado por [76] quienes observaron alteraciones similares en productos enriquecidos con ingredientes ricos en pigmentos fenólicos. Este equilibrio cromático contribuye a un aspecto visual atractivo y diferenciado, que puede ser un elemento clave en la aceptación sensorial del producto.

El volumen específico de los cupcakes formulados fue ligeramente menor en comparación con los tradicionales elaborados con 100% harina de trigo. Este efecto puede explicarse por la ausencia de gluten en las harinas de cañihua y hongo, lo que limita la formación de una red extensible que atrape gases durante el horneado [12]. Sin embargo, este impacto fue mitigado por las propiedades espumantes y estabilizantes de los β -glucanos del hongo, que actuaron como agentes estructurantes alternativos [23]. Aunque el menor volumen específico podría percibirse como un inconveniente, no afectó significativamente la aceptabilidad sensorial, ya que la textura y densidad del producto final fueron bien valoradas por los panelistas.

De otro lado, los resultados obtenidos reflejan las diferencias significativas entre la formulación óptima de cupcakes elaborado con 73.30% de harina de trigo, 10.8% de harina de hongo, y 15.9% de harina de cañihua, en comparación con el control elaborado con 100% de harina de trigo. La formulación óptima presentó un contenido de humedad significativamente mayor (28.94%) en comparación con el control (25.82%), lo que

representa un incremento del 12.08%. Este aumento se puede atribuir a la capacidad de retención de agua de los β -glucanos presentes en la harina de hongo (*Suillus luteus*) y a la fibra dietética soluble de la harina de cañihua. Según [71], este tipo de componentes mejora la hidratación de la masa, lo que contribuye a una mayor esponjosidad en el producto final. Sin embargo, este nivel de humedad debe ser monitoreado para garantizar la estabilidad microbiológica del producto durante el almacenamiento. La materia seca disminuyó en la formulación óptima (71.06%) en comparación con el control (74.18%), lo que indica un cambio del -4.21%. Este resultado es consistente con el mayor contenido de humedad observado en el cupcake formulado. La reducción de materia seca puede influir en la densidad del producto y podría mejorar su aceptación sensorial al generar una textura más ligera.

El contenido proteico en la formulación óptima (16.15%) mostró un incremento significativo del 63.79% en comparación con el control (9.86%). Este aumento se debe principalmente al aporte de proteínas de alta calidad provenientes de la harina de hongo y la harina de cañihua, ambas reconocidas por su perfil de aminoácidos esenciales [31], [45]. Este enriquecimiento posiciona al cupcake formulado como un alimento funcional con un valor nutricional superior. El contenido de grasa en la formulación óptima (15.54%) fue ligeramente menor que en el control (17.24%), con una reducción del -9.86%. Este resultado podría atribuirse a la menor cantidad de lípidos en la harina de hongo y cañihua en comparación con la harina de trigo. Además, esta disminución puede ser vista como un beneficio para consumidores que buscan opciones de menor contenido de grasa sin comprometer la calidad sensorial.

El contenido de carbohidratos disminuyó drásticamente en la formulación óptima (30.42%) en comparación con el control (45.08%), con una reducción del -32.52%. Este cambio se debe a la sustitución parcial de harina de trigo, rica en almidones, por harinas con mayores niveles de proteínas y fibra dietética. Según [71] esta reducción de carbohidratos también puede contribuir a un menor índice glucémico, lo que hace que el cupcake formulado sea una opción más saludable para consumidores preocupados por la regulación de glucosa en sangre. El contenido de cenizas aumentó significativamente en la formulación óptima (1.78%) en comparación con el control (0.98%), con un incremento del 81.63%. Este resultado refleja el mayor aporte de minerales de las harinas de hongo y cañihua, particularmente hierro, calcio y magnesio. Estudios como los de [62]

destacan el valor de estas harinas en el enriquecimiento mineral de productos horneados. El contenido de fibra cruda en la formulación óptima (1.89%) fue considerablemente mayor que en el control (1.02%), con un incremento del 85.29%. Este resultado es consistente con el contenido de fibra dietética insoluble y soluble presente en la cañihua y el hongo. Este aumento en fibra no solo mejora el valor nutricional, sino que también favorece la digestión y prolonga la sensación de saciedad.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se determinó las características fisicoquímicas de la harina de hongo, obteniendo humedad (4.81 ± 0.12 %), proteínas (22.92 ± 0.88 %), grasas (3.89 ± 0.05 %), carbohidratos (56.93 ± 1.22 %), cenizas (9.12 ± 0.21 %) y fibra (2.33 ± 0.04 %).

Se determinó las características tecnofuncionales de las harinas utilizadas en la formulación de cupcakes, obteniendo un mayor índice de absorción de agua la harina de hongo comestible (0.1877 ± 0.0272 g/g), un mayor índice de solubilidad la harina de trigo (39.735 ± 13.3873 g/g) y un mayor poder de hinchamiento la harina de hongo comestible (0.1594 ± 0.0645 g/g).

Se determinó que las características sensoriales de las formulaciones de cupcakes, obteniéndose un ajuste a modelos cuadráticos y cúbicos (mayor R²), y elementos del modelo significativos (según ANOVA con p valor < 0.05), mostrándose que las formulaciones con mayor Harina de Trigo y Harina de cañihua tenían mayor aceptabilidad, mientras que las formulaciones con mayor Harina de Hongo comestibles tenían menor aceptabilidad.

Se determinó que las características fisicoquímicas de las formulaciones de cupcakes, obteniéndose un ajuste a modelos lineales, cuadráticos y cúbicos (mayor R²), y elementos del modelo significativos (según ANOVA con p valor < 0.05), mostrándose que las formulaciones con mayor Harina de Trigo y Harina de cañihua tenían mejores parámetros de humedad, acidez, textura, volumen específico y colorimetría, mientras que las formulaciones con mayor Harina de Hongo comestibles todo lo contrario.

Se determinó los parámetros nutricionales de la mejor formulación de cupcakes, contiene alto nivel de proteínas ($8.15\% \pm 0.017\%$), fibra ($1.89\% \pm 0.108\%$), carbohidratos ($20.70\% \pm 0.236\%$), y bajos en grasas ($38.54\% \pm 0.444\%$), en comparación a un Cupcake comercial.

4.2. Recomendaciones

Realizar estudios de formulaciones de cupcakes con otros tipos de hongo comestibles con alto potencial de industrialización, producido en zonas altoandinas del Perú.

Evaluar la influencia de la variedad, edad de cosecha y tipo de deshidratación de hongo, en los parámetros fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales, comparando con presente estudio.

Realizar procesos de germinación al grano de cañihua con la finalidad de aumentar compuestos bioactivos.

Realizar estudios de vida útil del mejor cupcake formulado.

REFERENCIAS

- [1] C. Rocha *et al.*, “A food-system approach to addressing food security and chronic child malnutrition in northern Vietnam,” *J Agric Food Syst Community Dev*, vol. 11, no. 4, pp. 273–292, 2022, doi: 10.5304/jafscd.2022.114.019.
- [2] S. Estecha-Querol, S. K. Z. Zaidi, L. Al-Khudairy, P. Gill, and R. Iqbal, “‘Good Food Causes Good Effects and Bad Food Causes Bad Effects’: Awareness, Meanings and Perceptions of Malnutrition among Pakistani Adolescents Living in Slums through Photodiaries and Interviews,” *Nutrients*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/nu15010033.
- [3] E. S. Sreetha, G. N. Sundar, and D. Narmadha, “An Investigation on Impact of Malnutrition in Human Health and Technique to Evaluate the Nutrient Intake from the Food Image,” in *2022 IEEE International Power and Renewable Energy Conference, IPRECON 2022*, 2022. doi: 10.1109/IPRECON55716.2022.10059560.
- [4] G. Steiner, B. Geissler, and E. S. Schernhammer, “Hunger and obesity as symptoms of non-sustainable food systems and malnutrition,” *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 6, 2019, doi: 10.3390/app9061062.
- [5] M. H. Ahmed, D. Vasas, A. Hassan, and J. Molnár, “The impact of functional food in prevention of malnutrition,” *PharmaNutrition*, vol. 19, 2022, doi: 10.1016/j.phanu.2022.100288.
- [6] G. Paslakis, G. Dimitropoulos, and D. K. Katzman, “A call to action to address COVID-19-induced global food insecurity to prevent hunger, malnutrition, and eating pathology,” *Nutr Rev*, vol. 79, no. 1, pp. 114–116, 2021, doi: 10.1093/nutrit/nuaa069.
- [7] J. Limachi *et al.*, “Antioxidant potential and fatty acid profile of different canihua (*Chenopodium pallidicaule*) cultivars, raised in Bolivian Altiplano,” *Food Science and Applied Biotechnology*, vol. 6, no. 2, pp. 383–394, 2023, doi: 10.30721/FSAB2023.V6.I2.284.
- [8] J. F. Gomez Cahuata, Y. E. Rosas-Quina, and E. Pachari Vera, “Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) a promising superfood in food industry: a review,” *Nutr Food Sci*, vol. 52, no. 6, pp. 917–928, 2022, doi: 10.1108/NFS-09-2021-0277.
- [9] D.-S. Kim and F. Iida, “Kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*)’s Nutritional Composition and Its Applicability as an Elder-Friendly Food with Gelling Agents,” *Gels*, vol. 9, no. 1, 2023, doi: 10.3390/gels9010061.
- [10] P. P. Miranda-Villa, J. R. Mufari, A. E. Bergesse, and E. L. Calandri, “Effects of Whole and Malted Quinoa Flour Addition on Gluten-Free Muffins Quality,” *J Food Sci*, vol. 84, no. 1, pp. 147–153, 2019, doi: 10.1111/1750-3841.14413.
- [11] J. Vidaurre-Ruiz *et al.*, “Andean crops: kañiwa and tarwi flours used for the development of vegan gluten-free muffins,” *J Sci Food Agric*, vol. 102, no. 15, pp. 7282–7292, 2022, doi: 10.1002/jsfa.12094.

- [12] C. A. López-Alarcón, M. A. Cerdán-Leal, C. I. Beristain, L. A. Pascual-Pineda, E. Azuara, and M. Jiménez-Fernández, “The potential use of modified quinoa protein isolates in cupcakes: Physicochemical properties, structure and stability of cupcakes,” *Food Funct*, vol. 10, no. 7, pp. 4432–4439, 2019, doi: 10.1039/c9fo00852g.
- [13] E. Özgören and A. Yapar, “Some Physicochemical and Sensory Properties of Muffin Cakes Enriched with Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Flour | Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Unu ile Zenginleştirilen Muffin Keklerin Bazı Fizikokimyasal ve Duyusal Özellikleri,” *Akademik Gıda*, vol. 20, no. 3, pp. 244–252, 2022, doi: 10.24323/akademik-gida.1186935.
- [14] A. Hamza, A. Mylarapu, K. V. Krishna, and D. S. Kumar, “An insight into the nutritional and medicinal value of edible mushrooms: A natural treasury for human health,” *J Biotechnol*, vol. 381, pp. 86–99, 2024, doi: 10.1016/j.jbiotec.2023.12.014.
- [15] A. G. Niego *et al.*, “Macrofungi as a nutraceutical source: promising bioactive compounds and market value,” *Journal of Fungi*, vol. 7, no. 5, 2021, doi: 10.3390/jof7050397.
- [16] J. Zhang, Y. Lu, L. Zhao, and L.-A. Wang, “Hypoglycemic activity of total flavonoids from slippery jack mushroom, *Suillus luteus* (Agaricomycetes), in vitro and in vivo,” *Int J Med Mushrooms*, vol. 23, no. 11, pp. 17–26, 2021, doi: 10.1615/INTJMEDMUSHROOMS.2021040384.
- [17] M. B. Pildain, P. Marchelli, M. M. Azpilicueta, C. Starik, and C. Barroetaveña, “Understanding introduction history: Genetic structure and diversity of the edible ectomycorrhizal fungus, *Suillus luteus*, in Patagonia (Argentina),” *Mycologia*, vol. 113, no. 4, pp. 715–724, 2021, doi: 10.1080/00275514.2021.1909449.
- [18] L. Yao *et al.*, “Chemical Constituents from Mushroom *Suillus luteus* (Agaricomycetes) and Their Bioactivities,” *Int J Med Mushrooms*, vol. 24, no. 11, pp. 63–71, 2022, doi: 10.1615/IntJMedMushrooms.2022045041.
- [19] D. Dimitrov, N. Palagacheva, M. Stoyanova, M. Lacheva, N. Valchev, and T. Radoukova, “Phospholipids and fatty acid profiles of wild edible mushrooms (*Suillus luteus*), Bulgaria,” *Oxidation Communications*, vol. 43, no. 3, pp. 516–525, 2020.
- [20] T. D. Santos *et al.*, “*Suillus luteus* methanolic extract inhibits cell growth and proliferation of a colon cancer cell line,” *Food Research International*, vol. 53, no. 1, pp. 476–481, 2013, doi: 10.1016/j.foodres.2013.05.037.
- [21] G. Jaworska, K. Pogoń, E. Bernaś, A. Skrzypczak, and I. Kapusta, “Vitamins, phenolics and antioxidant activity of culinary prepared *Suillus luteus* (L.) Roussel mushroom,” *LWT*, vol. 59, no. 2P1, pp. 701–706, 2014, doi: 10.1016/j.lwt.2014.07.040.
- [22] I. F. Olawuyi and W. Y. Lee, “Quality and antioxidant properties of functional rice muffins enriched with shiitake mushroom and carrot pomace,” *Int J Food Sci Technol*, vol. 54,

- no. 7, pp. 2321–2328, 2019, doi: 10.1111/ijfs.14155.
- [23] G. O. Babarinde and L. T. Adeola, “FUNCTIONAL AND NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF CUPCAKES PRODUCED FROM BLENDS OF MUSHROOM, ORANGE-FLESHED SWEET POTATO AND WHEAT FLOUR,” *Polish Journal of Natural Sciences*, vol. 37, no. 3, pp. 391–405, 2022, doi: 10.31648/pjns.8475.
- [24] C.-S. Kong *et al.*, “Antioxidant Activity of Shiitake Mushroom (*Lentinus edodes*) Water Extract and Its Quality Characteristics Effect in Muffins,” *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, vol. 48, no. 10, pp. 1079–1089, 2019, doi: 10.3746/jkfn.2019.48.10.1079.
- [25] G. K. Dhillon, A. Kour, and B. M. Salazar, “Potential of *Pleurotus ostreatus* as a novel protein source in rice-millet-based gluten-free muffins,” *Cogent Food Agric*, vol. 9, no. 1, 2023, doi: 10.1080/23311932.2023.2191888.
- [26] J. Mérida-López, S. J. Pérez, R. Morales, J. Puhagen, B. Bergenståhl, and C. C. Rojas, “Comparison of the Chemical Composition of Six Canihua (*Chenopodium pallidicaule*) Cultivars Associated with Growth Habits and after Dehulling,” *Foods*, vol. 12, no. 8, 2023, doi: 10.3390/foods12081734.
- [27] J. P. Rodriguez, A. Bonifacio, L. R. Gómez-Pando, A. Mujica, and M. Sørensen, *Cañahua (Chenopodium pallidicaule Aellen)*. 2023. doi: 10.1016/B978-0-323-90537-4.00011-9.
- [28] Apaza V., *Manejo y Mejoramiento de Cañihua*. Puno, Perú, 2010.
- [29] FAO, “Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Agronomía de los cultivos andinos. Qañiwa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen).,” 2000, Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro10/cap03_1_1.htm
- [30] National Research Council, *Lost crops of the Incas: Littleknown plants of the andes with promise for worldwide cultivation*. Washington, Estados Unidos, 1989.
- [31] Bartolo D, “Nutritional and antioxidant properties of cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen),” vol. 2, no. 1, pp. 47–53, 2013.
- [32] Ministerio de Agricultura y Riego, “MANEJO AGRONÓMICO GRANOS ANDINOS,” 2018.
- [33] R. Repo-Carrasco-Valencia and J. V. Arana, *Carbohydrates of Kernels*. 2016. doi: 10.1002/9781118938256.ch3.
- [34] Repo-Carrasco R., C. Espinoza, and S.-E. Jacobsen, “Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*).,” *Food Reviews International*, vol. 19, pp. 179–189, 2003.
- [35] R. A. M. Repo-Carrasco-Valencia, C. R. Encina, M. J. Binaghi, C. B. Greco, and P. A. R. de Ferrer, “Effects of roasting and boiling of quinoa, kiwicha and kañiwa on

- composition and availability of minerals in vitro,” *J Sci Food Agric*, vol. 90, no. 12, pp. 2068–2073, 2010, doi: 10.1002/jsfa.4053.
- [36] R. Repo-Carrasco-Valencia, *Dietary Fibre and Bioactive Compounds of Kernels*. 2016. doi: 10.1002/9781118938256.ch4.
- [37] R. Repo-Carrasco-Valencia, J. K. Hellström, J.-M. Pihlava, and P. H. Mattila, “Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*),” *Food Chem*, vol. 120, no. 1, pp. 128–133, 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.09.087.
- [38] N. Sammán, M. C. Rossi, S. Calliope, and R. A.-M. Repo-Carrasco-Valencia, *Nutritional Composition, Bioactive and Anti-Nutritional Compounds of Latin-American Crop Grains*. 2023. doi: 10.1201/9781003088424-8.
- [39] T. A. Ajith and K. K. Janardhanan, “Indian medicinal mushrooms as a source of antioxidant and antitumor agents,” *J Clin Biochem Nutr*, vol. 40, no. 3, pp. 157–162, 2007, doi: 10.3164/jcfn.40.157.
- [40] K. Huang, H. R. El-Seedi, and B. Xu, “Critical review on chemical compositions and health-promoting effects of mushroom *Agaricus blazei* Murill,” *Curr Res Food Sci*, vol. 5, pp. 2190–2203, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.CRFS.2022.10.029.
- [41] M. Berovic, *Cultivation of Medicinal Mushroom Biomass by Solid-State Bioprocessing in Bioreactors*, vol. 169. 2019. doi: 10.1007/10_2019_89.
- [42] T. Longvah and Y. G. Deosthale, “Compositional and nutritional studies on edible wild mushroom from northeast India,” *Food Chem*, vol. 63, no. 3, pp. 331–334, 1998, doi: 10.1016/S0308-8146(98)00026-0.
- [43] A. C. Ruthes, F. R. Smiderle, and M. Iacomini, “Mushroom heteropolysaccharides: A review on their sources, structure and biological effects,” *Carbohydr Polym*, vol. 136, pp. 358–375, 2016, doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.061.
- [44] A. Bhambri, M. Srivastava, V. G. Mahale, S. Mahale, and S. K. Karn, “Mushrooms as Potential Sources of Active Metabolites and Medicines,” Apr. 26, 2022, *Frontiers Media S.A.* doi: 10.3389/fmicb.2022.837266.
- [45] A. Bains, P. Chawla, S. Kaur, A. Najda, M. Fogarasi, and S. Fogarasi, “Bioactives from mushroom: Health attributes and food industry applications,” *Materials*, vol. 14, no. 24, 2021, doi: 10.3390/ma14247640.
- [46] S.-T. Chang and S. P. Wasser, “The role of culinary-medicinal mushrooms on human welfare with a pyramid model for human health,” *Int J Med Mushrooms*, vol. 14, no. 2, pp. 95–134, 2012, doi: 10.1615/IntJMedMushr.v14.i2.10.
- [47] A. Hamza, V. Mandari, and D. Santhosh Kumar, “Efficient production of biomass and exopolysaccharide from *P. ostreatus* and physio-chemical characterization of biomass

- powder," *Food Biosci*, vol. 55, 2023, doi: 10.1016/j.fbio.2023.103073.
- [48] N. J. Dubost, B. Ou, and R. B. Beelman, "Quantification of polyphenols and ergothioneine in cultivated mushrooms and correlation to total antioxidant capacity," *Food Chem*, vol. 105, no. 2, pp. 727–735, 2007, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.01.030.
- [49] S. K. Panda, G. Sahoo, S. S. Swain, and W. Luyten, "Anticancer Activities of Mushrooms: A Neglected Source for Drug Discovery," *Pharmaceuticals*, vol. 15, no. 2, 2022, doi: 10.3390/ph15020176.
- [50] D. Stojkovic *et al.*, "An insight into antidiabetic properties of six medicinal and edible mushrooms: Inhibition of α -amylase and α -glucosidase linked to type-2 diabetes," *South African Journal of Botany*, vol. 120, pp. 100–103, 2019, doi: 10.1016/j.sajb.2018.01.007.
- [51] X. Liu, K. Hirota, Z. Jia, and Y. Dai, "A multi-autoencoder fusion network guided by perceptual distillation," *Inf Sci (N Y)*, vol. 606, pp. 1–20, Aug. 2022, doi: 10.1016/J.INS.2022.05.018.
- [52] A. Das, C. M. Chen, S. C. Mu, S. H. Yang, Y. M. Ju, and S. C. Li, "Medicinal Components in Edible Mushrooms on Diabetes Mellitus Treatment," Feb. 01, 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/pharmaceutics14020436.
- [53] P. Nowakowski, R. Markiewicz-Żukowska, J. Bielecka, K. Mielcarek, M. Grabia, and K. Socha, "Treasures from the forest: Evaluation of mushroom extracts as anti-cancer agents," *Biomedicine and Pharmacotherapy*, vol. 143, 2021, doi: 10.1016/j.biopha.2021.112106.
- [54] M. Sevindik, "Mushrooms as natural antiviral sources and supplements foods against coronavirus (COVID-19)," *Journal of Bacteriology & Mycology: Open Access*, vol. 9, no. 2, pp. 73–76, May 2021, doi: 10.15406/jbmoa.2021.09.00299.
- [55] D. J. Seo and C. Choi, "Antiviral bioactive compounds of mushrooms and their antiviral mechanisms: A review," Feb. 01, 2021, *MDPI AG*. doi: 10.3390/v13020350.
- [56] R. Jyotsna, P. Prabhasankar, D. Indrani, and G. V. Rao, "Improvement of Rheological and Baking Properties of Cake Batters with Emulsifier Gels," 2004. [Online]. Available: www.ift.org
- [57] O. Yildiz and I. S. Dogan, "Optimization of gluten-free cake prepared from chestnut flour and transglutaminase: Response surface methodology approach," *International Journal of Food Engineering*, vol. 10, no. 4, pp. 737–746, 2014, doi: 10.1515/ijfe-2014-0024.
- [58] R. Baixauli, T. Sanz, A. Salvador, and S. M. Fiszman, "Muffins with resistant starch: Baking performance in relation to the rheological properties of the batter," *J Cereal Sci*, vol. 47, no. 3, pp. 502–509, May 2008, doi: 10.1016/J.JCS.2007.06.015.
- [59] S. P. Cauvain, "Cakes, Sponges and Muffins," in *Baking Problems Solved*, Elsevier, 2017, pp. 235–298. doi: 10.1016/b978-0-08-100765-5.00005-9.

- [60] A. Salvador and S. Fiszman, "Performance of resistant starches in baking: A case study on fibre-rich and wholegrain muffins," in *Fibre-Rich and Wholegrain Foods: Improving Quality*, Elsevier Ltd., 2013, pp. 236–255. doi: 10.1533/9780857095787.3.236.
- [61] F. Abderrahim, E. Huanatico, R. Repo-Carrasco-Valencia, S. M. Arribas, M. C. Gonzalez, and L. Condezo-Hoyos, "Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*)," *J Cereal Sci*, vol. 56, no. 2, pp. 410–417, 2012, doi: 10.1016/j.jcs.2012.04.013.
- [62] J. Limachi *et al.*, "Antioxidant potential and fatty acid profile of different canihua (*Chenopodium pallidicaule*) cultivars, raised in Bolivian Altiplano," *Food Science and Applied Biotechnology*, vol. 6, no. 2, pp. 383–394, 2023, doi: 10.30721/FSAB2023.V6.I2.284.
- [63] S. Zegarra, A. M. Muñoz, and F. Ramos-Escudero, "Elaboration of a gluten-free bread based on cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) flour and sensory acceptability evaluation | Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y evaluación de la acept," *Revista Chilena de Nutricion*, vol. 46, no. 5, pp. 561–570, 2019, doi: 10.4067/S0717-75182019000500561.
- [64] D. Velasco López and Y. Ponce de León Catacora, "Usos culinarios y características organolépticas del hongo silvestre comestible: *Suillus luteus* en Pampallacta, región Cusco," Lima, Perú, 2019. Accessed: Feb. 06, 2024. [Online]. Available: <https://repositorio.ulcb.edu.pe/bitstream/handle/ULCB/55/Tesis%20Velasco-Ponce%20de%20Leon.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [65] M. B. Gariboldi *et al.*, "Anti-Cancer Potential of Edible/Medicinal Mushrooms in Breast Cancer," *Int J Mol Sci*, vol. 24, no. 12, 2023, doi: 10.3390/ijms241210120.
- [66] H. Li, J. Gao, F. Zhao, X. Liu, and B. Ma, "Bioactive Peptides from Edible Mushrooms—The Preparation, Mechanisms, Structure—Activity Relationships and Prospects," *Foods*, vol. 12, no. 15, 2023, doi: 10.3390/foods12152935.
- [67] U. Singh *et al.*, "Edible mushrooms: A sustainable novel ingredient for meat analogs," *eFood*, vol. 4, no. 6, 2023, doi: 10.1002/efd2.122.
- [68] A. Rauf *et al.*, "Edible mushrooms as potential functional foods in amelioration of hypertension," *Phytotherapy Research*, vol. 37, no. 6, pp. 2644–2660, 2023, doi: 10.1002/ptr.7865.
- [69] T. Pauro, "EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE ALMIDONES Y HARINAS DE DOS VARIEDADES DE CAÑIHUA (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) PROCESADA PARA LA PREPARACIÓN DE HARINAS PRECOCIDAS", Puno, 2017.
- [70] S. Pérez-álvarez, E. F. Hector-Ardisana, J. Rascón Solano, S. A. García García, V. H. Villarreal Ramírez, and M. I. Terrazas-Gómez, "Edible mushrooms – perspectives and

- considerations,” *Not Sci Biol*, vol. 15, no. 3, 2023, doi: 10.55779/nsb15311586.
- [71] J. Ortiz, P. Velasquez, and A. Santis, “Use of vegetables as a new ingredient in the formulation of Cupcakes for new trends and eating habits,” *Chem Eng Trans*, vol. 87, pp. 427–432, 2021, doi: 10.3303/CET2187072.
- [72] R. Repo-Carrasco-valencia and J. M. Vidaurre-Ruiz, *Bioactive Compounds in Quinoa (Chenopodium quinoa) and Kañiwa (Chenopodium pallidicaule)*. 2022. doi: 10.1007/978-981-16-3832-9_12.
- [73] J. F. Gomez Cahuata, Y. E. Rosas-Quina, and E. Pachari Vera, “Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) a promising superfood in food industry: a review,” *Nutr Food Sci*, vol. 52, no. 6, pp. 917–928, 2022, doi: 10.1108/NFS-09-2021-0277.
- [74] E. A. Yazdi, A. Pedramnia, F. Naghipour, A. H. Elhamirad, and S. M. R. Asl, “Investigation of the effect quinoa malt addition on the shelf life and structure of gluten-free bread,” *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, vol. 19, no. 131, pp. 161–172, 2023, doi: 10.22034/FSCT.19.131.161.
- [75] P. Saini *et al.*, “Bioactive compounds, nutritional benefits and food applications of colored wheat: a comprehensive review,” *Crit Rev Food Sci Nutr*, pp. 1–14, 2020, doi: 10.1080/10408398.2020.1793727.
- [76] L. C. Oliveira, M. Schmiele, and C. J. Steel, “Development of whole grain wheat flour extruded cereal and process impacts on color, expansion, and dry and bowl-life texture,” *LWT*, vol. 75, pp. 261–270, 2017, doi: 10.1016/j.lwt.2016.08.064.

ANEXOS: PANEL FOTOGRAFICO

OBTENCION DE H. HONGO COMESTIBLE



Figura:1 Deshidratado de hongo comestible



Figura:2 Proceso de molienda



Figura:3 Tamizado h. de hongo comestible



Figura:4 Envasado de h. de hongo comestible

OBTENCION DE H. DE CAÑIHUA



Figura:5 Grano de cañihua



Figura:6 Molienda de cañihua



Figura:7 Tamizado de h. de cañihua



Figura:8 Envasado de h. de cañihua

ELABORACION DEL CUPCAKE



Figura:9 Pesado de insumos



Figura:10 Mezcla de insumos



Figura:11 Moldeado del cupcake



Figura:12 Envasado y Almacenado del cupcake

ANALISIS ORGANOLECTICOS, FISICOQUIMICOS Y TECNO-FUNCIONAL



Figura:13 Características tecno-funcional de la h. trigo, h. Hongo Comestible y h. cañihua



Figura:15 Evaluación de textura



Figura:16 Evaluación de pH



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



REPORTE DE ANÁLISIS N° 97 – 2023 – FIQA

1. NOMBRES : Manayay Llaguento Beatriz
Vásquez Fernández Licenia
2. PROYECTO DE TESIS: Evaluación Sensorial y Físicoquímica de Cup-cake con sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium polidicaule*)

1. DATOS DE LA MUESTRA

- Número de muestras : 03
- Fecha de monitoreo : 16/10/2023
- Muestra : cup-cake

2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADO	MÉTODO
pH	-	5.19	---
Acidez	%	0.09	Titulación
Humedad	%	28.94	Gravimétrico
Cenizas	%	1.78	Gravimétrico
Grasas	%	15.54	Soxhlet
Proteínas	%	16.15	Kjeldahl
Fibra	%	1.89	Gravimétrico
Carbohidratos	%	30.42	---
Color		Baja luminosidad (marrón café)	CIELAB

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad.

Firma		Firma	
Analista	Ing. Cristian David Visconde Beltrán	V°B°	Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Fecha del Análisis		19 de Octubre del 2023	



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
UNIDAD DE SERVICIOS TÉCNICOS



REPORTE DE ANÁLISIS N° 94 – 2023 – FIQIA

1. NOMBRES : Manayay Llaguento Beatriz
Vásquez Fernández Licenia
2. PROYECTO DE TESIS: Evaluación Sensorial y Físicoquímica de Cup-cake con sustitución parcial de harina de trigo con harina de hongo comestible (*Suillus luteus*) y cañihua (*Chenopodium pollidicaule*)

1. DATOS DE LA MUESTRA

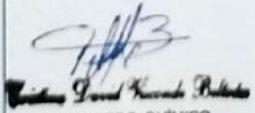
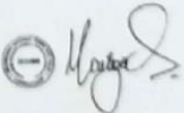
- Número de muestras : 01
- Cantidad : 150 g.
- Fecha de monitoreo : 29/09/2023
- Muestra : Harina de hongos

2. RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	RESULTADO	MÉTODO
Humedad	%	4.81	Gravimétrico
Cenizas	%	9.12	Gravimétrico
Grasas	%	3.89	Soxhlet
Proteínas	%	22.92	Kjeldahl
Fibra	%	2.33	Gravimétrico
Carbohidratos	%	56.93	---

3. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos fueron realizados en el Laboratorio de Investigación y Servicios Técnicos de la Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, siguiendo estrictos estándares de calidad.

Firma	 INGENIERO QUÍMICO RPG CIP 111172	Firma	
Analista	Ing. Cristian David Visconde Beltrán	V°B°	Dr. César Augusto Monteza Arbulú
Fecha del Análisis		04 de Octubre del 2023	

EVALUACIÓN SENSORIAL

Para la evaluación organoléptica de los cupcakes obtenidos con las diferentes concentraciones de harina de hongo y harina de cañihua, se utilizó una escala hedónica lineal con los valores de:

- 1: Totalmente desagradable.
- 2: Muy desagradable.
- 3: Desagradable.
- 4: Poco desagradable.
- 5: Neutral
- 6: Regular.
- 7: Poco agradable.
- 8: Agradable.
- 9: Muy agradable.
- 10: Totalmente agradable.

Para esto se le dio un cup cake por tratamiento en estudio a cada uno de los panelistas elegidos y se le pidió que llenase según los parámetros a evaluar, siendo estos: Color, sabor, olor, textura y apariencia general. La prueba se aplicó a 30 panelistas.

FORMULACIÓN	HARINA DE TRIGO	HARINA DE HONGO	HARINA DE CAÑIHUA	CÓDIGO
F1	100%	0%	0%	2952
F2	85%	15%	0%	3630
F3	70%	4.9%	25.1%	2231
F4	74.5%	19.4%	6.1%	2261
F5	100%	0%	0%	2204
F6	85%	0%	15%	1636
F7	70%	0%	30%	2625
F8	70%	30%	0%	3487
F9	85%	15%	0%	2301

F10	79.9%	9.7%	10.4%	1900
F11	70%	30%	0%	1315
F12	75.4%	4%	20.6%	1267
F13	90.1%	4.9%	5%	2877
F14	70%	13.4%	16.6%	1412

ESCALA LINEAL PARA EL GRADO DE ACEPTABILIDAD

Producto: Cup Cake enriquecido con H. de Trigo con H. Hongo y H. Cañihua

Sírvase a degustar las muestras que se presentan y señale con una marca el grado de aceptación en la regla que se muestra a continuación.

Código 2952

Color	0	5	10
Olor	0	5	10
Sabor	0	5	10
Textura	0	5	10
Apariencia	0	5	10